



اهمیت تولید و کاربردهای کامپوزیت‌های کاغذ- پلیمر رسانا

* علی‌اصغر تاتاری^۱، احسان شکاریان^۲، منصور غفاری^۳ و ایمان اکبریپور^۴

^۱دانش‌آموخته کارشناسی ارشد صنایع خمیر و کاغذ، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ^۲دانش‌آموخته دکتری تخصصی شیمی، واحد علوم و تحقیقات تهران، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران، ^۳دانشجوی دکتری تخصصی صنایع خمیر و کاغذ، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ^۴دانش‌آموخته دکتری تخصصی صنایع خمیر و کاغذ، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
تاریخ دریافت: ۹۳/۱۰/۲۷؛ تاریخ پذیرش: ۹۴/۸/۷

چکیده

سابقه و هدف: پلیمرهای رسانا دارای خواص الکتریکی هستند و در پژوهش‌های مواد هوشمند مورد استفاده قرار می‌گیرند. از مهم‌ترین پلیمرهای رسانا می‌توان به پلی‌آنیلین و پلی‌پیرول اشاره نمود. پلی‌آنیلین یکی از بیش‌ترین پلیمرهای رسانای استفاده شده در ساخت کامپوزیت کاغذ- پلیمر رسانا است که به‌علت هزینه کم و دسترسی آسان مواد اولیه، سنتز آسان، پایداری محیط زیستی مطلوب و رسانایی الکتریکی قابل کنترل مورد توجه بوده است.

مواد و روش‌ها: این پژوهش از نوع مروری بوده که به روش کتابخانه‌ای و با استفاده از مدارک و سوابق موجود، روش‌های تولید و سنتز کامپوزیت‌های کاغذ- پلیمر رسانا و کاربردهای آن مورد بررسی قرار گرفته است.

یافته‌ها: کاغذهای رسانا با استفاده از پلیمریزاسیون پلی‌پیرول و پلی‌آنیلین بر روی کاغذ با استفاده از یک عامل اکسیدکننده تولید می‌شوند. اهداف گسترده‌ای برای کاربرد کاغذهایی با ویژگی الکتریکی وجود دارد. نمونه‌هایی از این کاربردها عبارتند از: عایق برای مدارهای یکپارچه در دستگاه‌های الکترونیکی، عایق برای سیم رادیویی، عایق برای کابل برق و ترانسفورماتور برق، کاغذ دی‌الکتریک برای کاربرد در خازن، صنایع الکترونیک و تجهیزات نوری، باتری‌های قابل شارژ، تجهیزات ذخیره انرژی. در این مقاله پس از بررسی پلیمرهای رسانا، به روش‌های مختلف تهیه و کاربردهای کاغذهای رسانا پرداخته شده است.

نتیجه‌گیری: پلیمرهای رسانا می‌توانند به‌وسیله روش‌های پلیمریزاسیون شیمیایی و با هزینه کم به مقدار زیاد تولید شوند. فرآیند عمده و اصلی در تولید این کامپوزیت‌ها استفاده از پلیمرهای رسانا مثل پلی‌آنیلین به‌صورت پوشش بر روی الیاف سلولزی می‌باشد که این روش باعث اصلاح الیاف شده و در نتیجه آن بسیاری از خواص کاغذ بهبود یافته و موادی با پتانسیل کاربردی فراوان ایجاد خواهد کرد.

واژه‌های کلیدی: پلی‌آنیلین، پلی‌پیرول، عامل اکسیدکننده، کاغذ رسانا، مواد هوشمند

مقدمه

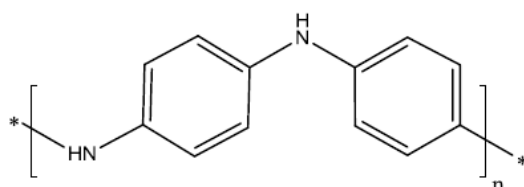
دسته جدیدی از پلیمرهای سنتز شده، رسانای جریان الکتریسیته هستند و پلیمرهای رسانا نامیده می‌شوند (۱۶). پلیمرهای رسانا زمینه پژوهشی جالبی در دو دهه اخیر بوده‌اند. اولین پلیمر رسانایی که کشف شد، پلی‌استیلن بود که توسط لوئیس شیراکاوا و همکاران (۱۹۷۷) تهیه شد. او به همراه همکارانش پی بردند که رسانائیت پلی‌استیلن می‌تواند از طریق تغلیظ شیمیایی افزایش یابد و در واقع از یک عایق کامل به یک رسانای مشابه فلز تبدیل شود. پلیمرهای دیگر مانند پلی‌پیرو (PPY)، پلی‌آنیلین (PANI)، پلی‌تیوفن (PTH)، پلی ۴ و ۳ اتیلن دی اکسن تیوفن (PEDOT)، پلی‌پارافینیلن (PPP)، پلی‌پارا فنیلن وینیلن (PPPV) و همچنین مشتقاتشان را در گروهی دسته‌بندی می‌کنند که به پلیمرهای ذاتاً رسانا معروفند (۹). متداول‌ترین این پلیمرهای رسانا پلی‌تیوفن، پلی‌استیلن، پلی‌آنیلین، پلی‌پیرو و پلی‌پارافینیلن هستند (۱۳). این پلیمرها پتانسیل یونیزاسیون کم و کشش جذب الکترون زیادی دارند. از طریق اکسیداسیون-احیا با استفاده از ممزوج شونده‌های مناسب می‌توان رسانایی این پلیمرها را تا حد فلزات افزایش داد و نیز ساختار محکمی را مشابه با سیلیکون ایجاد کرد (۹). کاغذ یک ماده جامع می‌باشد که به‌طور وسیعی به‌عنوان یک ابزار ارتباطی و در مصارف بسته‌بندی مورد استفاده قرار می‌گیرد و شامل ترکیبی از الیاف سلولزی، مواد پرکننده، مواد آهار و غیره است. در یک کاغذ الیاف سلولزی با پیوندهای هیدروژنی بین گروه‌های هیدروکسیل کنار هم قرار گرفته‌اند. الیاف در طول و قطرشان بسته به منبع چوبی اولیه آن‌ها، روش خمیرسازی و هدف تولید کاغذ یا مصارف بسته‌بندی (مورد مصرف)، به‌طور قابل ملاحظه‌ای دچار تغییرات می‌شوند (۲۱). حلالیت پلیمرهای رسانایی مانند پلی‌آنیلین و پلی‌پیرو، همچنین شکل و

وضعیت آن‌ها در ورق به‌طور گسترده مورد مطالعه قرار گرفته است. آن‌ها تا حد قابل توجهی ویژگی‌های اکسایشی-کاهشی دارند. به‌خصوص پلی‌آنیلین می‌تواند در حالت‌های کاهش یافته، خنثی و اکسایش یافته وجود داشته باشد و رسانایی‌های متفاوتی را از خود نشان دهد (۲۲). ویژگی‌های رسانایی، شیمیایی و الکتروشیمیایی پلیمر به‌وسیله استخلاف‌های بنزن یا حلقه‌های پیرول یا به‌وسیله عوامل محیطی (طبیعت یا محیط) تحت تأثیر قرار می‌گیرد. تولید محصول کامپوزیتی جدید کاغذ-پلیمر رسانا، فرصت جدیدی را برای ترکیب ویژگی‌های متفاوت پلیمر و کاغذ برای تولید یک ماده جدید مناسب که ویژگی‌های کامل‌تر و مطلوب‌تری را نسبت به دو ماده اولیه‌شان داشته باشد، فراهم می‌نماید. اگر پلیمر رسانا سطح پیوسته‌ای را بر روی بافت زمینه‌ای کاغذ شکل دهد، در واقع صفحه پلیمر قوی‌تری با همان سطح مشابه قبلی به‌عنوان ورق کاغذ تشکیل یافته است. اگر پلیمر با بافت زمینه حفظ‌شده ورق کاغذ (به‌خصوص دست‌نخورده آن)، اندود شود، اساساً باعث افزایش در سطح ویژه پلیمر می‌شود و در نتیجه ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی پلیمر که وابسته به سطح هستند، افزایش خواهند یافت (۸). کاغذهای رسانا متشکل از خمیرهای کاغذ رنگ‌بری یا رنگ‌بری نشده (بسته به کاربرد) است که در آن الیاف سلولزی توسط پلیمرهای رسانا اصلاح می‌شوند. نتیجه این اصلاح یک ماده رسانا است که بسیار شبیه به کاغذ معمولی است. به‌عنوان مثال مقاومت کششی کاغذ رسانا مشابه کاغذ معمولی است. کاغذهای رسانا قابل بازیافت بوده و زیست‌تخریب‌پذیر می‌باشد (۱۷). از مهم‌ترین پلیمرهای رسانایی که به‌دلیل مزایایشان به‌طور گسترده‌تری در تهیه کاغذهای رسانا استفاده می‌شوند می‌توان به پلی‌آنیلین و پلی‌پیرول اشاره نمود.

مهم‌ترین پلیمرهای رسانا

پلی‌آنیلین: امروزه پلیمرهای رسانا به مواد اولیه بالقوه برای طیف گسترده‌ای از کاربردهای پیشرفته تبدیل شده است (۴). یکی از مهم‌ترین پلیمرهای رسانا پلی‌آنیلین است. پلی‌آنیلین از اکسایش آنیلین تحت شرایط اسیدی قوی و با استفاده از پتاسیم یدات به‌عنوان شروع‌کننده واکنش‌ها، سنتز می‌شود (۱۶). در میان دیگر پلیمرهای رسانا، این پلیمر به‌دلیل ویژگی‌هایی مانند سنتز آسان، قیمت و هزینه تولید کم، کاربرد وسیع، پایداری گرمایی و شیمیایی بالا در حالت رسانایی، دوپه کردن آسان با اسیدهای غیرآلی و آلی به‌منظور آماده‌سازی فرم رسانا و راندمان بالای پلیمریزه‌شدن نظرها را به خود جلب کرده است. ویژگی‌های الکتریکی، الکتروشیمیایی و نوری پلی‌آنیلین آن را به ماده‌ای جذاب برای کاربرد در صنایع الکترونیکی، پوشش‌های ضد الکتریسته ساکن،

پوشش‌های ضد خوردگی تبدیل کرده است (۲ و ۱۳). با وجود مزایای فراوان پلی‌آنیلین به‌عنوان پلیمر رسانا، این ماده معایبی نیز دارد که استفاده صنعتی از این پلیمر را با مشکل مواجه نموده است. از آن جمله می‌توان به محدودیت فرآیندپذیری و ویژگی‌های مکانیکی کم آن اشاره کرد. برای حل این مشکلات، چندین روش ارائه شده است. برای مثال فرآیندپذیری و پایداری حرارتی پلی‌آنیلین را می‌توان با دوپه کردن دوباره با اسیدهای آلی مانند دودسیل بنزن سولفونیک اسید، پاراتولوئن سولفونیک اسید و کامفورسولفونیک اسید، یا اسیدهای معدنی مانند کلریدریک اسید، سولفوریک اسید و فسفریک اسید بهبود داد. همچنین، کوپلیمریزاسیون آنیلین با مشتقاتش روش دیگری برای بهبود فرآیندپذیری پلی‌آنیلین است (۱۴ و ۱۵). ساختار شیمیایی پلی‌آنیلین در شکل ۱ ارائه شده است.

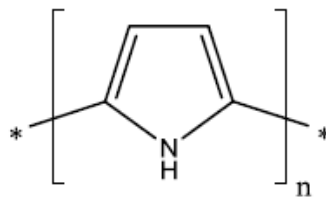


شکل ۱- ساختار شیمیایی پلی‌آنیلین (۶).

Figure 1. Chemical structure of polyaniline (6).

تولید کامپوزیت‌های رسانا موفقیت‌آمیز بوده و باعث افزایش ویژگی‌های مکانیکی و الکتریکی این محصولات شده است (۴). ساختار شیمیایی پلی‌پیرول در شکل ۲ ارائه شده است.

پلی‌پیرول: در میان پلیمرهای رسانا، پلی‌پیرول (PPy) نیز به‌طور گسترده به‌دلیل رسانایی زیاد، هزینه کم، سهولت ساخت و ثبات زیست‌محیطی مناسب، مورد مطالعه قرار گرفته است. اگرچه محدودیت اصلی PPy عدم فرآیندپذیری است. استفاده از این پلیمر در

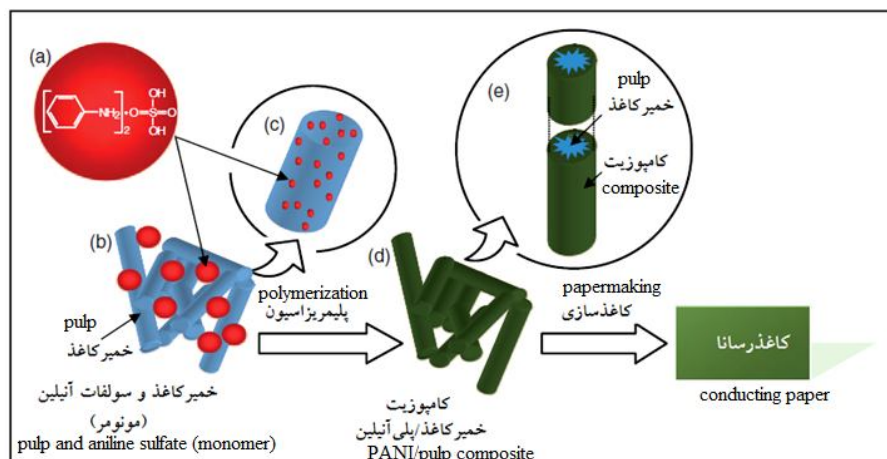


شکل ۲- ساختار شیمیایی پلی پیرول (۶).

Figure 2. Chemical structure of Polypyrrole (6).

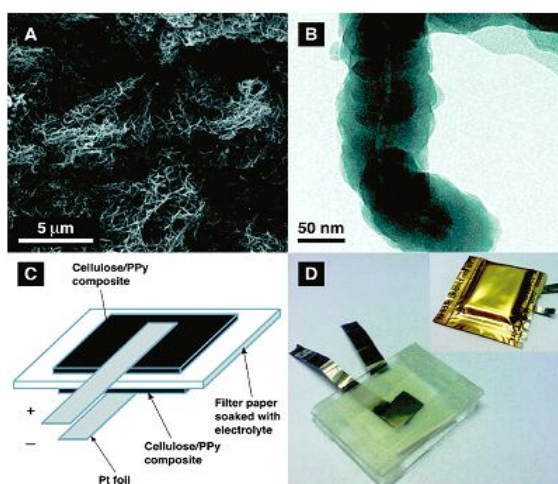
منفرد و تنها در ورق کاغذ به طور نسبی با استفاده از پلی آنیلین و پلی پیرول کپسوله می شوند. این فرآیند با استفاده از اکسیدکننده های مختلف در شرایط آزمایشگاهی مناسب به دست می آید. از جمله اکسیدکننده ها می توان به کلرید آهن و پرسولفات آمونیوم اشاره نمود. برای این منظور می توان از دو روش استفاده نمود. در یک روش، اول مونومر به کاغذ اعمال می شود و به دنبال آن اکسیدکننده به کار می رود و در روش دیگر بالعکس. پلیمریزاسیون و در نتیجه پوشش دهی الیاف سلولزی توسط پلی پیرول یا پلی آنیلین با از بین رفتن پلیمرهای پیوندنیافته دنبال خواهد بود (۸). این فرآیند به طور شماتیک در شکل ۳ و نمونه هایی از این کاغذها در شکل ۴ آورده شده است.

فرآیند تهیه کاغذ رسانا توسط پلیمرهای رسانا: روش تهیه کامپوزیت رسانا روش بسیار مهمی است که در آن یک پلیمر رسانا در بافت زمینه یک پلیمر یا مخلوطی از پلیمرهایی با خواص فیزیکی و شیمیایی مناسب وارد می شود. با این روش کامپوزیت هایی با رسانایی قابل قبول و خواص مکانیکی مناسب (با تنظیم نسبت پلیمر رسانا به پلیمر عایق) می تواند تولید شود. مشخص شده است که خصوصیات الکتریکی یک کامپوزیت وابسته به غلظت، اندازه و شکل ذرات پلیمر رسانا می باشد (۱۴). در تهیه کاغذهای رسانا ابتدا کاغذ موردنظر به عنوان بافت ماتریس (زمینه ای) اولیه انتخاب می گردد. البته این کاغذها نباید دارای مواد پرکننده و سطوح پوشش داده شده با مواد باشد. الیاف



شکل ۳- تشریح شماتیکی تهیه کاغذ رسانا با استفاده از خمیر کاغذ و پلیمر رسانا: (a) سولفات آنیلین (مونومر). (b) مونومرهای بین الیاف خمیر. (c) مونومرهای جذب شده در الیاف خمیر. (d) کامپوزیت پلی آنیلین / خمیر. (e) مقطع عرضی کامپوزیت (۵).

Figure 3. Schematic illustration of preparation of conducting paper sheet: (a) Aniline sulfate (monomer). (b) Monomers between individual pulp fibers. (c) Absorbed monomers inside the pulp fibers. (d) PANI/pulp composite. (e) Cross-section of the composite (5).



شکل ۴- کامپوزیت کاغذ رسانا (سلولز- پلی‌پیرول): (A) تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) تهیه‌شده با بزرگ‌نمایی ۱۰۰۰۰ برابر؛ (B) تصویر میکروسکوپ الکترونی عبوری (TEM) الیاف کامپوزیت سلولز؛ (C) تصویر شماتیک و (D) تصویر کامپوزیت کاغذ باتری سلول قبل و بعد از آب‌بندی در کیسه‌های آلومینیومی پوشش‌دهی شده با پلیمر (۱۰).

Figure 4. Cellulose-PPy conductive paper composite: (A) SEM micrograph taken with a magnification factor of 10000; (B) TEM image of the cellulose composite fiber; (C) schematic image; and (D) photograph of the composite paper battery cell before and after sealing it into a polymer-coated aluminum pouch (10).

محیط و در حضور کاتالیست) است. تولید کاغذهای رسانا با این روش‌ها و با توجه به وابسته بودن به شرایط پلیمریزاسیون، دارای رسانایی بین 10^{-4} تا 1 S/cm است (۱۸). شکل ۵ کاغذ رسانا بر پایه کامپوزیت خمیرکاغذ/ پلی‌آنیلین تهیه شده با تکنیک فرآوری را نشان می‌دهد.

الیاف پوشش داده شده می‌تواند به‌وسیله دو روش فرآوری و حاصل شود: در روش اول، پلیمریزاسیون درجا (الیاف سلولز، مونومر و مواد افزودنی در آب محلول هستند و محلول اکسیدکننده به آن اضافه می‌شود). روش دوم به‌وسیله پلیمریزاسیون فاز بخار بر الیاف (در درجه حرارت

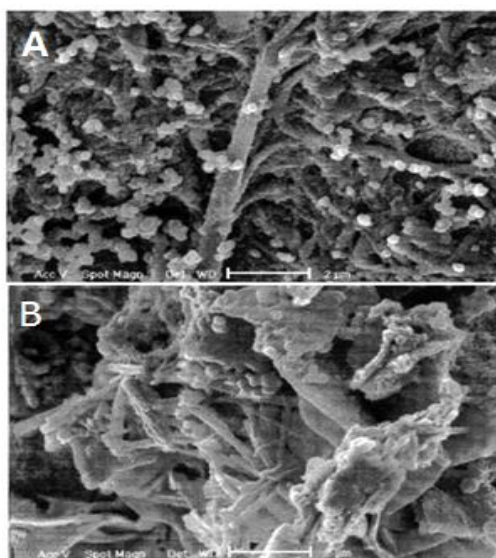


شکل ۵- (a) کاغذ رسانا بر پایه کامپوزیت خمیرکاغذ/ پلی‌آنیلین تهیه شده با تکنیک فرآوری؛ (b) یک کاغذ رسانا حجیم شده، (c) کشیده شده، (d) تصویر SEM از برش عرضی دو لایه ورقه خمیر و کاغذ/ پلی‌آنیلین، (e) نمونه ضخیم (۵).

Figure 5. (a) Conducting paper sheet based on a PANI/pulp composite prepared by a paper processing technique; (b) A conducting paper rose and (c) crane made from a PANI/paper composite sheet (d) SEM image of a cross-section of a double-layer sheet (paper/PANI and pulp composite) (e) thick sample (5).

نمی‌شود. از این رو پیشنهاد می‌شود که پیوند بین سطوح الیاف و پلیمر، پیوند هیدروژنی است که باید میان H گروه N در حلقه پیرول و جفت الکترون‌های منفرد O گروه‌های OH سطح سلولز و یا بین H گروه‌های OH سلولز و جفت الکترون‌های منفرد بر روی N پیرول باشد (۸). ثابت دی‌الکتریک یک ماده به قطب‌پذیری مولکول‌ها بستگی دارد. به‌عنوان مثال، سلولز به‌عنوان عنصر اصلی ساختار الیاف به‌دلیل وجود گروه‌های هیدروکسیل، اتصالات استال و اتر (C-O-C) در ساختارشان به‌شدت قطبی است. وجود گروه‌های قطبی بیش‌تر در ساختار خمیرکاغذ، پلاریزاسیون را افزایش داده و منجر به افزایش ثابت دی‌الکتریک می‌شود (۱۲). فراوان بودن، دسترس‌پذیری و خواص الکتریکی ویژه سلولز از جمله مزایایی است که این ماده را برای تولید الیاف رسانا توسعه و مورد توجه قرار داده است (۲۰). استفاده از آمونیوم پرسولفات به‌عنوان اکسیدکننده سبب تولید پوششی از پلی‌آیلین با ریخت‌شناسی پیچیده و متغیر می‌گردد. کره‌های منفرد تا اندازه تقریبی بیش‌تر از ۱۰۰-۲۰۰ نانومتر تا کره‌های کوچک‌تر تا اندازه تقریبی ۱۰۰-۵۰ نانومتر قابل مشاهده می‌باشند که روی الیاف سلولزی پوشش‌دهی شده‌اند. هم‌چنین صفحات بی‌شکل و نامنظم و میله‌ای پلی‌آیلین بر سطح کامپوزیت کاغذ-پلیمر مشخص و متمایز است. علت این ریخت‌شناسی‌های متفاوت به لحاظ ظاهری مربوط به استفاده از پرسولفات آمونیوم به‌عنوان اکسیدکننده گزارش شده است (۸).

به‌منظور بهبود رسانایی کامپوزیت‌ها، روش‌هایی مثل استفاده از ذرات فلز یا دیگر مواد افزودنی نیز توصیه شده است. البته این امر همیشه پاسخگو نیست، به‌عنوان مثال در یکی از گزارش‌های استفاده از نانوذرات نقره رسانایی الکتریکی کامپوزیت پلی‌پیرول/سلولز را بهبود نداده است (۱۸). در شکل ۶ تصاویر میکروسکوپ الکترونی از کاغذ فیلتر پوشش داده شده با پلی‌آیلین و پلی‌پیرول با استفاده از کلرید آهن به‌عنوان اکسیدکننده مشاهده می‌شود. این تصاویر نشان می‌دهد که پلی‌پیرول شامل کره‌هایی در اندازه تقریبی ۱۵۰-۵۰ نانومتر که با هم تجمع یافته‌اند، می‌باشد و باعث تشکیل پوشش یکپارچه و یکنواختی با ضخامت حدود یک کره که به‌طور کامل الیاف سلولزی در بافت زمینه‌ای کاغذ را درون پوششی قرار داده، می‌گردد. این فرآیند باعث شکل‌گیری ساختار غلافی شکل توسعه‌یافته و لایه‌ای یکپارچه بر روی الیاف بدون توجه به اندازه و شکل‌شان، می‌گردد. هیچ‌گونه الیاف بدون پوششی مشاهده نمی‌شود. دسته‌های (خوشه‌های) کوچک کره‌های پلی‌پیرول بر روی سطح الیاف پوشش داده شده دیده می‌شوند. بر روی سطح دسته‌ها (خوشه‌هایی) که بیرون زدگی دارند، از طریق پلیمریزاسیون با دسته‌های الیاف سلولزی پیوند پیدا کرده‌اند. خلل و فرج درون بافت زمینه‌ای کاغذ تا حد قابل توجهی حفظ شده و کاملاً با پلیمر پر نشده است. از ارتباط صحیح پلیمر با سطح الیاف پیش‌بینی می‌شود که پیوندهای شیمیایی بین پلیمر و سطوح خارجی سلولز به‌طور معنی‌داری وجود دارد و پوشش‌دهی انجام شده با صوت شدید تخریب

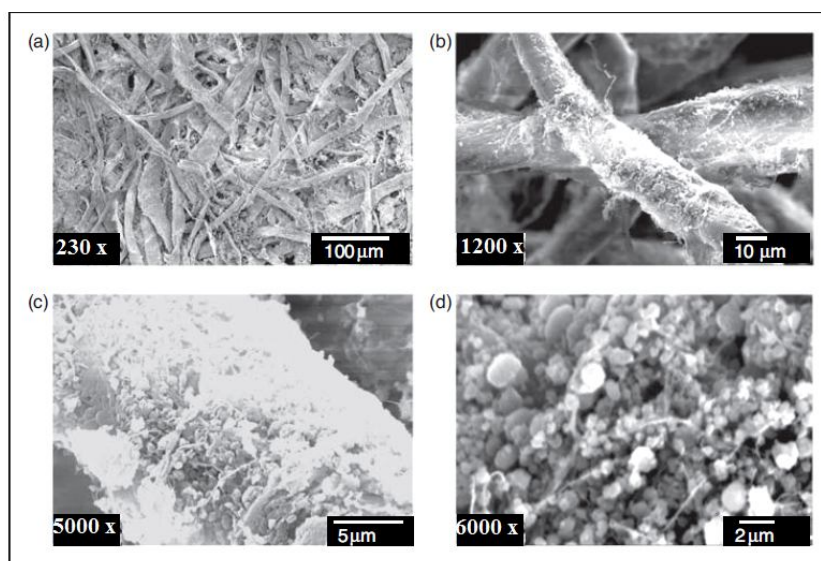


شکل ۶- (A) تصویر SEM از کاغذ فیلتر پوشش‌دهی شده با پلی‌پیرول با استفاده از کلرید آهن به‌عنوان اکسیدکننده و (B) تصویر SEM از کاغذ فیلتر پوشش‌دهی شده با پلی‌آنیلین با استفاده از آمونیوم پرسولفات به‌عنوان اکسیدکننده پلی‌آنیلین (۸).

Figure 6. (A) SEM image of filter paper coated with polypyrrole using ferric chloride as the oxidant and (B) SEM image of filter paper coated with polyaniline using ammonium persulfate as the oxidant (8).

زنجیره‌های اصلی باشد. برهم‌کنش بین گروه هیدروکسیل در سلولز و ویژگی‌های خودتجمعی در طول پلیمریزاسیون امکان شکل‌گیری ساختارهای کره‌ای را فراهم می‌کند (۵). نمونه‌ای از ساختارهای میکروسکوپی از سطح کامپوزیت خمیر کاغذ/ پلی‌آنیلین در شکل ۷ ارائه شده است.

گزارش شده است که پلی‌آنیلین‌ها ساختار نانولوله‌ای یا نانوالیاف را نشان می‌دهند. با این حال وجود پلی‌آنیلین در خمیر کاغذ (سلولز) هیچ ساختار نانولوله‌ای یا نانوالیاف شکل را نشان نداده است. به‌وجود آمدن ساختارهای قارچی شکل در کامپوزیت‌های کاغذ- پلیمر رسانا می‌تواند به‌علت خودتجمعی



شکل ۷- تصاویر SEM از سطح کامپوزیت خمیر کاغذ/ پلی‌آنیلین: (a) ۲۳۰ برابر، (b) ۱۲۰۰ برابر، (c) ۵۰۰۰ برابر، (d) ۶۰۰۰ برابر (۵).
Figure 7. Surface images of PANI/pulp composite obtained using SEM. (a) 230×, (b) 1200×, (c) 5000×, (d) 6000×.

کاربردهای کامپوزیت‌های کاغذ/ پلیمر رسانا: پلیمرهای رسانا که در طول سه دهه اخیر بسیار مورد توجه قرار گرفته‌اند، به سبب تغییر در خواص نوری و الکتریکی آن‌ها در ابعاد نانومتر، محتمل‌ترین سامانه‌ها برای کاربردهای نانو الکترونیک به‌شمار می‌روند (۱۱ و ۱۹). عمده‌ترین کاربردهای کاغذهایی الکتریکی با ویژگی‌های مخصوص، مانند کلیدهای اتصال، عایق اولیه ترانسفورماتورها، بوش‌ها، کابل‌های برق، سیم‌های رادیو و مدارات مجتمع درون وسایل الکترونیکی می‌باشد. کاربرد این کاغذها به‌خصوص در ترانسفورماتورها فراوان است و عایق عمده و اصلی مورد استفاده در آن‌ها محسوب می‌شود که در آن‌ها ثابت دی‌الکتریک زیاد، تلفات دی‌الکتریک کم و مقاومت شکست زیاد بود و جزو شروط اصلی مواد عایق هستند. این موارد می‌تواند با استفاده از خمیر کاغذهایی با میزان پالایش شدید و از طریق آغشتگی مناسب با روغن تامین گردد. با این‌که سلولز به‌طور استثنایی دارای ثابت دی‌الکتریک زیادی است، کاغذ و مقوا خود به‌تنهایی دی‌الکتریک‌های خوبی نیستند (۱۲). ثابت دی‌الکتریک سلولز در دامنه ۶ تا ۸/۱ قرار دارد، در حالی‌که ثابت دی‌الکتریک انواع کاغذهای عایق بین دامنه ۱/۲ تا ۴ قرار دارد (۳). پژوهش‌های حاضر در مورد کاغذ الکتریکی در ابتدا بر تولید و توسعه مدارهای الکترونیکی تمرکز دارند و بافت زمینه‌ای فعال نشانگر کاربرد پلیمرهای رسانا به‌طور مستقیم اعمال شده بر روی سطح کاغذ می‌باشند. پلیمرهای رسانای خاصی که برای این کاربردها مورد توجه قرار گرفته و مطالعه شده است (۱). علاوه بر این جوهرهای مخصوصی برای این اهداف تولید شده‌اند. پلیمریزاسیون شیمیایی پیروول در حضور زمینه بافتی شکل (به‌خصوص مواد سنتزی در طبیعت)، ایجاد رسانایی الکتریکی و اندود ساختار با پیروول را به‌دنبال دارد. مقادیر گسترده رسانایی

الکتریکی قابل دستیابی بوده و هم‌چنین انعطاف‌پذیری ساختار آن سبب کاربرد این تولیدات و محصولات (مواد) رسانا در لاغر و رقیق کردن ریزموج‌ها، پراکنده‌سازی تخلیه استاتیک، سپر و (حفاظ) تابشی الکترومغناطیسی، کاربرد در هیترهای مقاوم و محرک‌ها می‌گردد. در چنین مصارفی پلی‌پیروول به‌دلیل سمیت کم‌تر، دوام شیمیایی و دسترس‌پذیری تجاری بیش‌تر استفاده می‌شود (۸). از دیگر کاربردهای کامپوزیت‌های کاغذ- پلیمر رسانا می‌توان به باتری‌های قابل شارژ، سنسورهای قابل‌استفاده برای کاربردهای زیست‌محیطی (مثل سنسور حساس به نشر فرم‌آلدئید)، تجهیزات الکترونیکی و الکتریکی (۶ و ۲۰)، آنتن‌های دوقطبی (۱۷)، کاغذ خازن و مقوای ترانسفورماتور برق (۷)، سنسور خازنی، الکتروکاتالیست‌ها و سنسورهای زیستی، غشاهای جداسازی گاز، پوشش‌های ضدخوردگی (۱۸) اشاره کرد.

نتیجه‌گیری

در این مقاله به بررسی فرایند ساخت کاغذ رسانا و تأثیر پلیمرهای رسانا بر آن پرداخته شده است. این پلیمرها می‌توانند به‌وسیله روش‌های پلیمریزاسیون شیمیایی و با هزینه‌ای پایین به مقدار گسترده تولید شوند. فرآیند عمده و اصلی در تولید این کامپوزیت‌ها استفاده از پلیمرهای رسانا مثل پلی‌آنیلین به‌صورت پوشش بر روی الیاف سلولزی می‌باشد که این روش باعث اصلاح الیاف شده و در نتیجه آن بسیاری از خواص کاغذ بهبود یافته و موادی با پتانسیل کاربردی فراوان و در طیف گسترده‌ای مثل کاغذ کابل تلفن و برق، ساخت آنتن‌های دوقطبی، بردهای الکترونیکی، کاغذ خازن ایجاد خواهد کرد. تولید کاغذهایی با اهداف الکتریکی فرصت‌های جدیدی را در اختیار صنعت کاغذسازی و کامپوزیت قرار می‌دهد. تولید کاغذهای رسانا فرصت‌های جدیدی را در اختیار

غیرالکتریکی) استفاده می‌شود و پیشرفت و تحقیقات اخیر در این حوزه نشانگر اهمیت آن بوده است. تولید کامپوزیت‌های کاغذ با استفاده از پلیمرهای رسانا می‌تواند جایگزین بخش یا کلی از موادی که در صنایع الکتریکی و غیرالکتریکی استفاده می‌شوند، شوند. از نظر قیمت نهایی و سازگاری با محیط زیست، کامپوزیت‌های کاغذ- پلیمر رسانا باعث کاهش قیمت تمام شده محصولات شده و چرخه تجزیه آن در طبیعتی به مراتب سریع‌تر از محصولاتی هستند که از پلیمر ساخته می‌شوند. در چنین شرایطی صنعت خمیر و کاغذ، پتانسیل‌های عظیمی را برای بهبود محصولات موجود و ایجاد زمینه‌های جدید به صنعت کامپوزیت‌های سلولزی معرفی کرده است. مطالعات در این بخش و ایجاد زمینه برای استفاده مؤثرتر از این مواد در بخش کامپوزیت‌های سلولزی، قطعاً نتایج بسیار مفیدی را ارائه می‌دهد و باعث تقویت توان اقتصادی این واحدهای تولیدی خواهد شد.

صنعت کاغذسازی و کامپوزیت قرار می‌دهد. از دیدگاه اقتصادی نیز تولید کاغذهای رسانا، اقتصاد جدیدی ایجاد خواهد کرد. علی‌رغم این‌که پلیمرهای رسانا خواص جالبی دارند ولی تردی و شکنندگی و همچنین قابلیت فرآیندپذیری آن‌ها از کاربردهای تجاری جلوگیری می‌کند. اما امروزه روش‌های متعدد و مؤثری برای رفع معایب پلیمرهای رسانا ارائه شده است که متداول‌ترین آن دوپه کردن دوباره با اسیدهای غیرآلی و آلی است.

رهیافت ترویجی

کاغذ محصولی استراتژیک بوده و مصرف آن نمایش‌دهنده وضعیت فرهنگی و اقتصادی هر کشور است. امروزه به‌رغم پیشرفت سریع علوم رایانه‌ای در موارد ثبت، انتقال و طبقه‌بندی اطلاعات، هنوز هم نقش کاغذ و محصولات کاغذی و سلولزی به‌عنوان عاملی پایدار در انتقال و ثبت اطلاعات دارای اهمیت و مورد توجه می‌باشد. از این‌رو به‌دلیل دارا بودن برخی ویژگی‌های خاص کاغذ، از این ماده در طیف گسترده‌ای از کاربردها (با اهداف الکتریکی و

منابع

1. Andersson, P., Nilsson, D., Svensson, P., Chen, M., Malmstrom, A., Remonen, T., Kugler, T., and Berggren, M. 2002. Active matrix displays based on all-organic electrochemical smart pixels printed on paper. *Advanced Material*, 14: 20. 1460-1460.
2. Dehghani Ahmadabadi, M., and Noroozkermanshahi, P. 2012. Preparation of melt blends compounds PP/ polyaniline/carbon nanotube conductive and its melt spinning in production of conductive fiber. *J. Text. Today*. 122: 81-85. (In Persian)
3. Fahmy, T.Y.A., Mobarak, F., and El-Meligy, M.G. 2008. Introducing undeinked old newsprint as a new resource of electrical purposes paper. *J. Wood Sci. Technol*. 42: 691-698. (In Persian)
4. Ghalib, H., Abdullah, I., and Daik, R. 2013. Electrically conductive Polystyrene/Polypyrrole nanocomposites prepared via emulsion Polymerization. *Polymer-plastics Technology and Engineering*, 52: 478-484.
5. Goto, H. 2011. Electrically conducting paper from a polyaniline/pulp composite and paper folding art work for a 3D object. *Text. Res. J*. 81: 2. 122-127.
6. Hamilton, A. 2012. The formation and characterization of a Polypyrrole based sensor for the detection of Urea. Ph.D. Dissertation, National University of Ireland, 260p.
7. Hemasi, A.H., Hamzeh, Y., and Ekhtera, M.H. 2007. Paper and Cardboard. Tehran Science and Research Branch, Islamic Azad University Publications, 260p. (In Persian)

8. Johnston, J.H., Moraes, J., and Borrmann, T. 2005. Conducting polymers on paper fibers. *J. Synthetic Metal.* 153: 65-68.
9. Khajavi, R., Haji Seid Ebrahimi, M.H., and Talebi, N. 2011. An overview of the textile coating to improve strength and make a protective shield against electromagnetic waves, The 3th national conference on textile engineering and clothing, Islamic Azad University, Yazd Branch, 10p. (In Persian)
10. King, A.G. 2010. Research advances: paper batteries, phototriggered microcapsules and oil-free plastic production. *Chemical Education Today*, 87: 5. 464-466.
11. Malekdar, M. 2008. Preparation of polyaniline nanoparticles bio-catalytic method. *J. Nanospace.* 4: 17. 10-14.
12. Moradian Gilan, K., Azadfallah, M., Shayegani, A.A., and Abdolkhani, A. 2013. Dielectric properties of oil impregnated kraft and soda pulps. *Iran. J. Wood Paper Sci. Res.* 28: 2. 329-340. (In Persian)
13. Nazarzadeh, E. 2010. Optimization condition for the synthesis of polyaniline nanoparticles by chemical oxidation polymerization under ultrasonic irradiation and inert gas. *J. Appl. Chem. Res.* 4: 13. 83-91.
14. Nazarzadeh, E., and Najafi Mogadam, P. 2010. Preparation of Conductive Nanocomposites based on Polyaniline / Poly (styrene -alternative - maleic acid) blended with Polystyrene Sulfonic acid. *J. Appl. Chem. (University of Semnan)*, 5: 14. 13-22. (In Persian)
15. Nazarzadeh, E., and Najafi Mogadam, P. 2011. Preparation and investigation of Conductive Nanocomposites from Polyaniline/Poly (styrene -alternative - maleic acid) blended with Polystyrene Sulfonic acid. *J. Sci. (Tarbiat Moalem University)*, 11: 3. 186-177. (In Persian)
16. Riahi Samani, M., Borghai, S.M., Olad, A., and Chaichi, M.J. 2011. Adsorption of chromium from aqueous solution using polyaniline. *J. Water Wastewater.* 3: 1-8. (In Persian)
17. Rouse, C.D., Kurz, M.R., Petesen, B.R., and Colpitts, B.G. 2013. Performance evaluation of conductive-paper dipole antennas. *IEEE Transactions on antennas and propagation*, 61: 3. 1427-1430.
18. Sasso, C., Beneventi, D., Zeno, E., Chaussy, D., Petit-Conil, M., and Belgacem, N. 2011. Polypyrrole and Polypyrrole/wood-derived materials conducting composites: A Review, *BioResources*, 6: 3. 3585-3620.
19. Tang, Y., Alexander Mosseler, J., He, Z., and Ni, Y. 2014. Imparting cellulosic paper of high conductivity by surface coating of dispersed graphite. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 53: 24. 10119-10124.
20. Tatari, A.A., Shekarian, E., and Ghaffari, M. 2014. Investigation of paper- conductive polymer composites (conductive paper) applications in electronic industries, The 3th national conference on new technologies in chemistry & chemical engineering, Islamic Azad University, Quchan Branchm Iran, 9p. (In Persian)
21. Sixta, H. 2006. *Handbook of pulp (volume 1)*, WILEY-VCH, Weinheim, 1369p.
22. Yan, J., and Xu, R. 2015. Reinforced conductive polyaniline-paper composites. *BioResources*, 10: 3. 4065-4076.



Gorgan University of Agricultural
Sciences and Natural Resources

J. of Conservation and Utilization of Natural Resources, Vol. 6 (1), 2017
<http://ejang.gau.ac.ir>

Production and applications of paper- conductive polymer composites

***A.A. Tatari¹, E. Shekarian², M. Ghaffari³ and I. Akbarpour⁴**

¹M.Sc. Graduate of Pulp and Paper Technology, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, ²Ph.D. Graduate of Chemical Engineering, Tehran Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran, ³Ph.D. Student of Pulp and Paper Technology, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, ⁴Ph.D. Graduate of Pulp and Paper Technology, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

Received: 01/17/2015; Accepted: 10/29/2015

Abstract

Background and Objectives: Conductive polymers have electrical characteristics and are used in intelligent materials research. Poly-aniline and poly-pyrrole conducting polymers are the most important. Poly-aniline is one of the most used conducting polymer in production of Paper- Conductive Polymer Composites that due to its low cost and easy availability of raw materials, easy synthesis, suitable environmental stability and controllable electrical conductivity has been considered.

Materials and Methods: This study is a review article which has been studied by library method and using existing records, methods of production and synthesis of paper-polymer composites and its applications.

Results: Conducting papers is produced with using polymerization of Poly-aniline and Poly-pyrrole on paper using an oxidizing agent. There is a wide range of uses for paper in electrical industry, including: insulations for integrated circuits in electronic devices, insulations for radio wires, insulations for electricity cables and transformers electricity, or as dielectric paper for various types of capacitors, electronic and optical devices, rechargeable batteries, energy storage devices. After conducting polymers investigated in this paper, different methods of preparing and conducting paper applications are discussed.

Conclusion: Conductive polymers can be produced by low cost chemical polymerization methods. The main process for the production of these composites is the use of conductive polymers such as poly-aniline as coating on cellulosic fibers, which modifies the fibers, as a result, improves a lot of paper characteristics and produces materials with a high potential.

Keywords: Poly-aniline, Poly-pyrrole, Oxidizing agent, Conductive paper, Intelligent materials

* Corresponding author: asghar.tatari2007@yahoo.com

