

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
فصل اول : کلیات	۲
۱-۱- مقدمه	۲
۲-۱- تولید پلیمرهای رسانا	۳
۱-۲-۱- پلیمری شدن شیمیایی	۳
۲-۲-۱- پلیمری شدن الکتروشیمیایی	۴
۳-۱- دوپینگ در پلیمرهای رسانا	۴
۴-۱- روشهای تولید الیاف رسانا	۵
۱-۴-۱- تولید الیاف رسانا به روش ترریسی	۵
۲-۴-۱- تولید الیاف رسانا به روش ذوب ریسی	۶
۳-۴-۱- پوشش دهی الیاف با پلیمرهای هادی	۷
۴-۴-۱- پوشش دهی الیاف با فلزات رسانا	۱۰
۵-۱- کاربرد الیاف رسانا	۱۲
۱-۵-۱- کاربرد کامپوزیتی از الیاف رسانا به عنوان محافظ امواج الکترومغناطیسی (EMI)	۱۲
۲-۵-۱- کاربرد الیاف رسانا در پزشکی	۱۳
۳-۵-۱- کاربرد الیاف رسانا به عنوان حسگر گازی	۱۴
۶-۱- پلی پیروول	۱۷
۷-۱- روشهای تولید پلی پیروول	۱۷
۱-۷-۱- الکتروپلیمر شدن پیروول	۱۷
۲-۷-۱- پلیمر شدن شیمیایی پیروول	۱۸
۸-۱- نانوالیاف	۲۰
۹-۱- فرایند الکتروریسی	۲۰
۱۰-۱- تاریخچه تولید الیاف و نانوالیاف رسانای پلی پیروول	۲۱
۱۱-۱- اهداف تحقیق	۲۲
فصل دوم : اساس تجربی	۲۳
۱-۲- مقدمه	۲۳
۲-۲- مشخصات مواد مصرفی	۲۳
۳-۲- دستگاه های مورد استفاده	۲۴
۴-۲- مراحل و روش های انجام آزمایش	۲۴
۱-۴-۲- تهیه لایه های نانوالیاف	۲۵
۵-۲- ارزیابی خواص نانوالیاف هیبریدی PAN/PPy	۲۷
۱-۵-۲- طیف سنجی مادون قرمز	۲۷
۲-۵-۲- میکروسکوپ الکترونی روبشی نشر میدان (FESEM)	۲۷
۳-۵-۲- خواص حرارتی نانوالیاف	۲۸
۳-۵-۲- (الف) - وزن سنجی حرارتی (TGA)	۲۸

۲۹	.....۲-۵-۳(ب)-گرماسنجی تفاضلی پویشی (DSC):
۲۹	.....۲-۵-۴-اندازه گیری مقاومت الکتریکی نمونه ها
۳۱	.....۲-۶-تحلیل آماری نتایج

فصل سوم : نتایج و بحث..... ۳۲

۳۲	.....۳-۱-مقدمه
۳۲	.....۳-۲- تعیین بازده پلیمری شدن مونومر پیروول
۳۴	.....۳-۳- بررسی طیف سنجی مادون قرمز نانوالیاف هیبریدی PAN/PPy
۳۷	.....۳-۴-تعیین عوامل اثرگذار بر خواص نانوالیاف هیبریدی PAN/PPy
۳۷	.....۳-۴-۱- تأثیر دمای پلیمری شدن بر مقاومت الکتریکی نانوالیاف هیبریدی PAN/PPy
۴۰	.....۳-۴-۲- بررسی تأثیر مدت زمان پلیمری شدن بر مقاومت الکتریکی لایه های نانوالیاف هیبریدی PAN/PPy
۴۲	.....۳-۴-۳- بررسی تأثیر غلظت مونومر پیروول بر میزان مقاومت الکتریکی لایه های نانوالیاف هیبریدی PAN/PPy
۴۴	.....۳-۴-۳- بررسی مورفولوژی نانوالیاف هیبریدی PAN/PPy رسیده شده به کمک میکروسکوپیهای الکترونی نشر میدان
۴۸	.....۳-۵- بررسی پایداری حرارتی نانوالیاف هیبریدی PAN/PPy به کمک روش وزنسنجی حرارتی
۵۱	.....۳-۶- بررسی رفتار حرارتی نانوالیاف هیبریدی PAN/PPy به کمک روش گرماسنجی تفاضلی پویشی (DSC)
۵۳	.....۳-۸- اندازه گیری میزان رسانایی لایه های نانوالیاف به کمک روش چهار نقطه‌ای (Four-point prob)

فصل چهارم : نتیجه گیری کلی و پیشنهادات..... ۵۵

۵۵	.....۴-۱- نتیجه گیری کلی
۵۶	.....۴-۲- پیشنهادات
۵۷	.....مراجع

فهرست اشکال

<u>صفحه</u>	<u>عنوان</u>
۳	شکل ۱-۱- ساختار شیمیایی برخی از پلیمرهای رسانا [۳].....
۵	شکل ۲-۱- رسانایی برخی از فلزات و پلیمرهای رسانا [۲].....
۸	شکل ۴-۱- ساختار شیمیایی پلی آنیلین به فرم نمک [۱۴].....
۸	شکل ۵-۱- نمای شماتیکی فرایند پوشش دهی الیاف با محلول پلی آنیلین [۱۴].....
۸	شکل ۶-۱- تصاویر SEM نخ پلی استر ریسیده شده ی پوشش داده شده با پلی آنیلین (a,b) و الیاف فیلامنتی رسانا (c,d) [۱۴].....
۹	شکل ۷-۱- تصویر SEM حاصل از سطح مقطع نخ پلی استر ریسیده شده و پوشش داده شده با پلی آنیلین [۱۴].....
۹	شکل ۸-۱- نمودار مقاومت الکتریکی در مقابل غلظت پلی آنیلین برای نخهای پلی استر ریسیده شده و پوشش داده شده با پلی آنیلین [۱۴].....
۹	.....
۱۰	شکل ۹-۱- تصاویر SEM (a,b) الیاف پلی استر و (c,d) الیاف پلی اتیلن روکش داده شده با پلی آنیلین در دو بزرگنمایی متفاوت [۱۴]... ۱۰
۱۱	شکل ۱۰-۱- نمای شماتیکی فرایند الکتروروسی و جوشکاری با فلزات [۱۵].....
۱۱	شکل ۱۱-۱- تصاویر SEM حاصل از الیاف پلی اورتان الکتروروسی شده و جوشکاری شده با فلز مس با ضخامتهای مختلف (a) ۰ نانومتر (b) ۱۰ نانومتر (c) ۵۰ نانومتر (d) ۱۰۰ نانومتر [۱۵].....
۱۱	.....
۱۳	شکل ۱۲-۱- نمودار مربوط به میزان محافظت نسبی نسبت به مقاومت حجمی ویژه [۱۶].....
۱۳	شکل ۱۳-۱- نمودار a پاسخ لایه های حاصل از فیلم پلی آنیلین (-) ۰/۳ میکرومتر (---) ۰/۷ میکرومتر (...) ۱ میکرومتر - نمودار b لایه های حاصل از نانوالیاف پلی آنیلین (-) ۰/۲ میکرومتر (---) ۰/۴ میکرومتر (...) ۲ میکرومتر در مقابل گاز HCl [۱۹].....
۱۵	.....
۱۵	شکل ۱۴-۱- تصاویر SEM حاصل از لایه پلی آنیلین معمولی (a) و نانوالیاف پلی آنیلین (b) [۱۹].....
۱۵	شکل ۱۵-۱- نمودار a پاسخ مربوط به فیلم پلی آنیلین معمولی با ضخامتهای (-) ۰/۳ میکرومتر (---) ۰/۷ میکرومتر (...) ۱ میکرومتر نمودار b مربوط به نانوالیاف پلی آنیلینی (-) ۰/۲ میکرومتر (---) ۰/۴ میکرومتر (...) ۲ میکرومتر در برابر گاز آمونیاک [۱۹].....
۱۶	.....
۱۷	شکل ۱۶-۱- واکنش الکتروپلیمره شدن پلی پیرول [۳].....
۲۰	شکل ۱۷-۱- ادامه فرایند پلیمر شدن شیمیایی پیرول (X=NH) [۳].....
۲۶	شکل ۱-۲- نمایی از دستگاه الکتروروسی مورد استفاده در این تحقیق.....
۳۰	شکل ۳-۲- نمای شماتیکی از روش Four-point probe [۳۲].....
۳۵	شکل ۱-۳- طیف مادون قرمز نانوالیاف PAN خالص.....
۳۶	شکل ۲-۳- طیف مادون قرمز پودر پلی پیرول خالص.....
۳۶	شکل ۳-۳- طیف مادون قرمز لایه نانوالیاف PAN/PPy.....
۳۷	شکل ۵-۳- مقاومت الکتریکی لایه های نانوالیاف هیبریدی PAN/PPy در غلظتهای مختلف مونومر PPy در دمای ۲۳ درجه سانتی گراد
۳۸	شکل ۶-۳- مقاومت الکتریکی لایه های نانوالیاف هیبریدی PAN/PPy در غلظتهای مختلف مونومر PPy در دمای ۰ درجه سانتی گراد ..
۴۰	شکل ۷-۳- منحنی تأثیر زمان پلیمری شدن بر مقاومت الکتریکی نانوالیاف حاوی غلظتهای ۰/۵، ۰/۷ و ۰/۹٪ مونومر پیرول.....
۴۱	شکل ۸-۳- منحنی تأثیر زمان پلیمری شدن بر مقاومت الکتریکی نانوالیاف حاوی غلظتهای ۰/۱۱، ۰/۱۳ و ۰/۱۵٪ مونومر پیرول.....
۴۳	شکل ۹-۳- نمودار مقاومت الکتریکی نسبت به غلظت مونومر پیرول پس از ۴ ساعت از شروع واکنش پلیمری شدن.....
۴۵	شکل ۱۳-۳- تصویر FESEM و نمودار توزیع قطری مربوط به (a) نانوالیاف PAN، (b) ۵ PAN/PPy.....
۴۶	شکل ۱۳-۳- ادامه - تصویر FESEM و نمودار توزیع قطری مربوط به (c) ۷ PAN/PPy، (d) ۹ PAN/PPy، (e) ۱۳ PAN/PPy.....
۴۸	شکل ۱۸-۳- تصویر FESEM مربوط به نانوالیاف هیبریدی PAN/PPy 13/wt.....
۴۹	شکل ۱۵-۳- نمودار TGA نانوالیاف PAN.....
۴۹	شکل ۱۶-۳- نمودار TGA پلیمر PPy.....

- شکل ۳-۱۷- نمودار TGA نانوالیاف هیبریدی PAN/PPy 13 wt% ۵۰
- شکل ۳-۱۸- نمودار TGA نانوالیاف هیبریدی PAN/PPy 7 wt% ۵۰
- شکل ۳-۱۹- منحنی DSC حاصل از نانوالیاف PAN ۵۲
- شکل ۳-۲۰- منحنی DSC پلیمر PPy ۵۲
- شکل ۳-۲۵- منحنی DSC حاصل از نانوالیاف خاص PAN، پلیمر خالص PPy و نانوالیاف هیبریدی PAN/PPy ۱۳% ۵۳

فهرست جداول

عنوان	صفحه
جدول ۱-۲- خصوصیات مواد شیمیایی مورد استفاده.....	۲۴
جدول ۲-۲- شرایط الکتروورسی نانوالیاف هیبریدی PAN/PPy.....	۲۶
جدول ۳-۱- بازده پلیمری شدن PPy در غلظت‌های مختلف مونومر و زمان‌های متفاوت پلیمری شدن.....	۳۳
جدول ۳-۲- نتایج آزمون آماری توکی جهت ارزیابی معناداری تغییر بازده پلیمری با زمان.....	۳۳
جدول ۳-۳- نتایج آزمون آماری توکی جهت ارزیابی معناداری تغییر بازده پلیمری شدن با غلظت مونومر.....	۳۴
جدول ۳-۵- نتایج آماری حاصل آزمون توکی مقاومت الکتریکی نانوالیاف حاوی غلظت‌های مختلف مونومر پیروول در دماهای صفر و ۲۳ درجه سانتی‌گراد.....	۳۹
جدول ۳-۶- نتایج آماری حاصل از مقاومت الکتریکی در مدت زمان‌های مختلف پلیمری شدن در غلظت ۹٪ از مونومر پیروول.....	۴۲
جدول ۳-۷- نتایج آماری حاصل از مقاومت‌های الکتریکی در غلظت‌های مختلف مونومر.....	۴۴
جدول ۳-۸- جدول میانگین قطر نانوالیاف و گرانیروی محلول‌ها با درصدهای مختلف مونومر PPy.....	۴۷
جدول ۳-۹- نتایج حاصل از وزن‌سنجی حرارتی پلیمر PPy، نانوالیاف خالص PAN و نانوالیاف هیبریدی PAN/PPy.....	۵۱
جدول ۳-۱۰- میزان رسانایی الکتریکی لایه‌های نانوالیاف هیبریدی پس از گذشت ۸ ساعت پلیمری شدن.....	۵۴
جدول ۳-۱۱- میزان رسانایی الکتریکی لایه‌های نانوالیاف هیبریدی در غلظت ۹٪ مونومر پیروول در مدت زمان‌های متفاوت واکنش پلیمری شدن.....	۵۴

فصل اول

کلیات

۱-۱- مقدمه

پلیمرهای ذاتاً رسانا، گروهی از مواد با تکنولوژی‌های ویژه‌اند که دارای خواص الکتریکی، مغناطیسی و نوری می‌باشند. این گروه از مواد شبیه فلزات هستند، با این تفاوت که انعطاف‌پذیری و فرآیندپذیری پلیمرها در آنها وجود دارد. یعنی، هم دارای خواص فیزیکی و شیمیایی پلیمرهای آلی و هم خواص الکتریکی، مکانیکی و مغناطیسی فلزات هستند [۱-۲].

پلیمرهای رسانای الکتریکی، به راحتی توسط روشهای شیمیایی و یا الکتروشیمیایی قابل تولید می‌باشند. این پلیمرها می‌توانند به تنهایی و یا به صورت ترکیب با پلیمرهای دیگر، مورد استفاده قرار گیرند. برخی از پلیمرهای هادی، مانند پلی‌آنیلین^۱، پلی‌پیرول^۲ و پلی‌تیوفن^۳ به دلیل دارا بودن چگالی کم، سازگاری با محیط زیست و رسانایی قابل تنظیم مورد توجه قرار گرفته‌اند [۳].

ترکیبات پلیمری رسانای تولیدشده به روش ریخته‌گری، دارای ساختار گرانولی بوده، که موجب کاهش ظرفیت الکتروشیمیایی و افزایش مقاومت بین سطحی می‌گردد. در حالیکه پلیمرهای دارای ساختار لیفی شکل، به دلیل نسبت سطح به حجم بالا و سطح تماس موثر زیاد، موجب بهبود خواص الکتریکی می‌شود [۱].

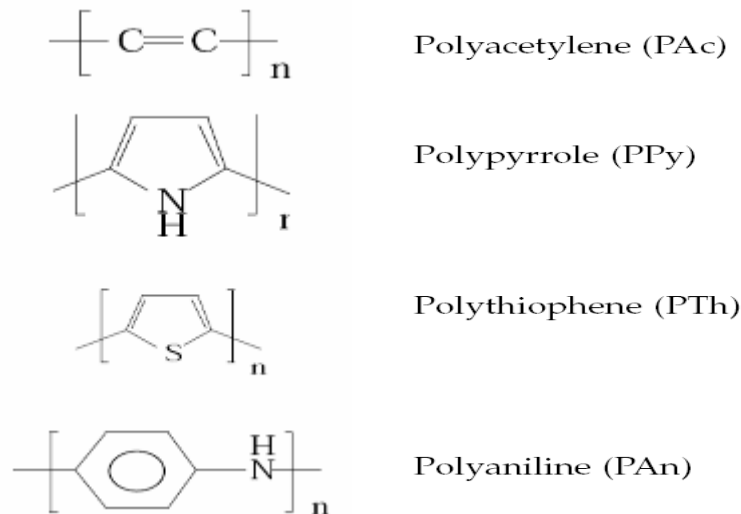
در الیاف پلیمری رسانا، خواص مکانیکی (کشش، خمش و...) و خواص محیطی (اکسید شدن، احیاء و...) مستقل از خاصیت رسانایی لیف، قابل کنترل هستند. این الیاف به شرط داشتن خاصیت رسانایی بالا برای ذخیره سازی

¹ Polyaniline

² Polypyrrole

³ Polythiophene

اطلاعات، کنترل انتقال داده‌ها، تولید لباس‌های حفاظتی، رگ‌های مصنوعی، فیلترهای گاز، سوپر خازن‌ها، حفاظ‌های الکترومغناطیسی، پوشش‌های ضد الکتریسیته ساکن، دیودهای منتشر کننده نور، باتریها و... به کار می‌روند [۴-۵]. از آنجایی که رسانایی پلیمرهای ذاتاً رسانا به رسانایی فلزات نزدیک است، به آنها فلزات مصنوعی^۱ نیز گفته می‌شود [۶]. ویژگی مشترک پلیمرهای ذاتاً رسانا، وجود پیوندهای یگانه و دو گانه به صورت متوالی در طول زنجیره مولکولی آنهاست که حرکت بار الکتریکی را در طول زنجیر میسر می‌سازد. بنابراین رسانایی معمولاً به تغییر محل الکترون‌های پیوندهای π در زنجیر اصلی پلیمر نسبت داده می‌شود. پلیمرهای ذاتاً رسانا در پتانسیل‌های نسبتاً کم به آسانی اکسید و احیاء می‌شوند. فرآیندهای اکسید/احیاء مذکور برگشت پذیر بوده و با تغییرات عمده‌ای در رسانایی، ترکیب و رنگ آنها همراه است [۳]. ساختار شیمیایی برخی از پلیمرهای رسانا در شکل ۱-۱ نشان داده شده است.



شکل ۱-۱- ساختار شیمیایی برخی از پلیمرهای رسانا [۳].

۲-۱- تولید پلیمرهای رسانا

عموماً تولید پلیمرهای ذاتاً رسانا از طریق اکسایش شیمیایی یا الکتروشیمیایی مونومرهای مربوطه انجام می‌شود. با وجود این برخی روش‌های دیگری نظیر پلیمری شدن آغاز شده نوری- شیمیایی^۲ و یا پلیمری شدن اکسایشی بیوکاتالیستی^۳ با استفاده از آنزیم‌ها هم وجود دارند [۲].

۱-۲-۱- پلیمری شدن شیمیایی

تولید پلیمرهای رسانا از طریق پلیمری شدن شیمیایی فرایندی آسان است. از این رو برای تولید مقادیر زیاد از پلیمرهای رسانا مفید است. پلیمری شدن شیمیایی با استفاده از اکسید کننده‌های قوی نظیر آمونیوم پراکسی دی سولفات، یونهای فریک، پر منگنات و یا هیدروژن پراکسید انجام می‌گیرد. این اکسید کننده‌ها قادر به اکسید کردن

^۱ Synthetic metals.

^۱ Photochemical initiated polymerization

^۲ Biocatalytic oxidative polymerization

مونومرها در محلول و تولید کاتیون رادیکال هستند. کاتیون رادیکالهای شکل گرفته با سایر مونومرها یا n -مرها واکنش داده و الیگومر یا پلیمر نامحلول را تولید می کنند [۷].

۱-۲-۲- پلیمری شدن الکتروشیمیایی

تولید الکتروشیمیایی پلیمرهای رسانا برای نخستین بار روی پلی پیرول انجام شد. نکته قابل توجه این است که در پلیمری شدن شیمیایی، پلیمرها به شکل پودر تولید می شوند، در حالی که تولید الکتروشیمیایی منجر به رسوب فیلمی از پلیمر رسانا بر روی الکترودهای فرایند می گردد. یکی از مزایای تولید الکتروشیمیایی آن است که با انتخاب الکترولیت مناسب می توان از مجموعه‌ی متنوعی از آنیون‌ها و کاتیون‌ها به عنوان یون دوپنت استفاده نمود. از مزایای دیگر پلیمری شدن شیمیایی این است که می توان با کنترل پتانسیل الکتروشیمیایی، سرعت پلیمری شدن و ضخامت فیلم را کنترل نمود [۳].

۱-۳- دوپینگ در پلیمرهای رسانا

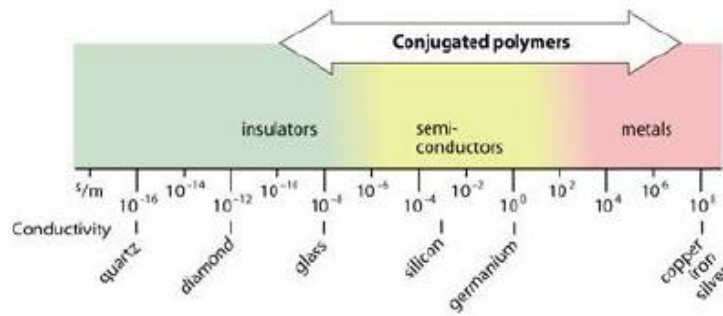
مفهوم منحصر به فرد دوپینگ، پلیمرهای رسانا را از سایر پلیمرها متمایز می سازد. در فرایند دوپینگ، یک پلیمر آلی که رسانایی بسیار کمی (معمولاً در محدوده 10^{-5} تا 10^{-10} زیمنس بر سانتی متر) دارد، به پلیمری که رسانایی فلزی دارد (10^4 تا 10^7 زیمنس بر سانتی متر) تبدیل می گردد. به منظور افزایش رسانایی این پلیمرها، لازم است تا حامل‌های متحرک به سیستم گانژوگه وارد شوند. این امر از طریق واکنش‌های اکسید/احیاء محقق می شود. این عمل دوپینگ یا دوپ کردن نام دارد. دوپنت با این که در ساختار مولکولی وارد نمی شود اما به طور گسترده، پلیمر را آشفته می کند. این امر متأثر از مقدار قابل ملاحظه‌ی دوپنت و هم چنین انتقال بار شدیدی است که بین دوپنت و زنجیره‌ی پلیمری انجام می شود. درجه دوپینگ را می توان به صورت برگشت پذیر کنترل کرد به طوری که محدوده‌ی از رسانایی را از حالت عایق تا حالت کاملاً دوپ شده و با رسانایی بسیار بالا به دست آورد. در فرایند دوپینگ زنجیره اصلی پلیمر اکسید یا احیاء می شود. اکسایش، الکترون‌ها را بیرون کشیده و بار مثبت در پلیمر تولید می کند. فرایند دوپینگ بر اساس اکسایش، الکترون‌ها را بیرون کشیده و بار مثبت در پلیمر تولید می کند. این فرایند، به عنوان دوپینگ نوع p یا مثبت^۱ شناخته می شود. در مقابل، احیای یک زنجیر پلیمری، بار منفی تولید می کند و دوپینگ‌های بر اساس احیاء، نوع n یا منفی^۲ شناخته می شوند. در واقع دوپنت یک کمپلکس انتقال بار ایجاد می کند و بسته به این که الکترون دهنده و یا الکترون گیرنده باشد، به ترتیب کاتیون-رادیکال^۳ یا آنیون-رادیکال^۴ شکل می دهد [۳].

^۱ Positive doping or p-doping.

^۲ Negative doping or n-doping.

^۳ Radical cation.

^۴ Radical anion.



شکل ۱-۲ رسانایی برخی از فلزات و پلیمرهای رسانا [۲].

۱-۴-۱- روش‌های تولید الیاف رسانا

در صنعت نساجی و تولید الیاف، عمدتاً از پلیمرهای عادی استفاده می‌شود که تاثیر اندکی در کاربردهایی که نیاز به رسانایی الکتریکی است، دارند. از طرفی با گسترش صنایع الکترونیک، نیاز به استفاده از مواد رسانا و نیمه رسانای انعطاف پذیر افزایش یافت. در این صورت الیاف پلیمری رسانا، نقش بارزی را در کاربردهای نساجی الکترونیکی، ایفا می‌کنند. از طرف دیگر تولید الیاف پلیمری رسانای ممتد مشکل است. الیاف رسانا به روش‌های مختلفی تولید می‌شود که در ادامه به شرح برخی از آنها پرداخته شده است.

۱-۴-۱-۱- تولید الیاف رسانا به روش ترریسی^۱

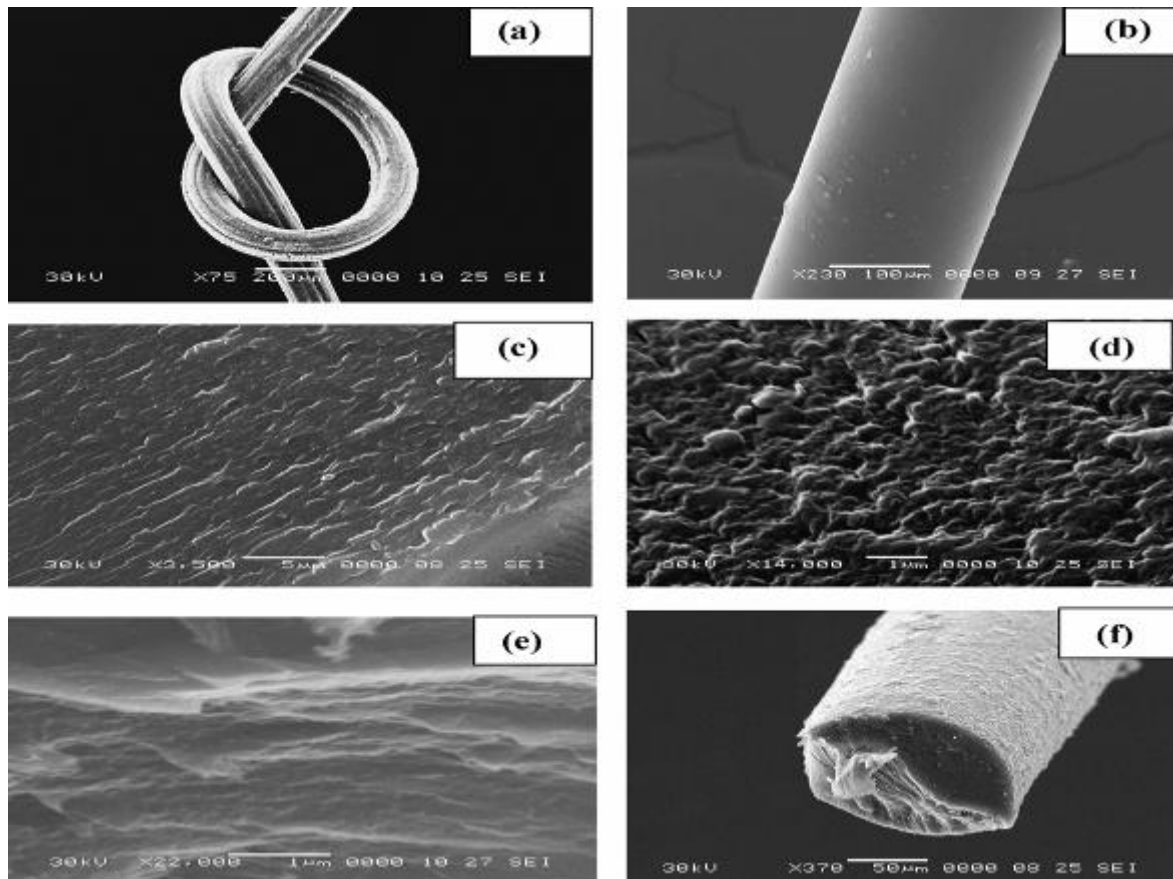
پلی پیروول (PPy)، یکی از پلیمرهای رسانای مهم است که قبلاً در کاربردهایی مانند الکترودهای باتری‌ها، محافظت امواج ماکروویو، ماهیچه‌های مصنوعی و... به کار رفته است. افزایش وزن مولکولی PPy، یکی از بهترین روش‌ها برای بهبود خواص این الیاف است. غلظت اکسیدکننده، دما و زمان پلیمری شدن، عوامل کلیدی در تعیین وزن مولکولی و در نتیجه رسانایی الکتریکی و حلالیت الیاف پلی پیروول است. با افزایش غلظت اکسیدکننده و زمان پلیمری شدن، رسانایی افزایش می‌یابد [۷-۹]. زمان پلیمری شدن پلی پیروول، سرعت واکنش را کنترل می‌کند. با افزایش زمان پلیمری شدن، ساختار مولکولی خطی تر می‌گردد. بر پایه‌ی این اطلاعات، شرایط پلیمری شدن به گونه‌ای طراحی می‌شود که بتوان از فرایند ترریسی برای تولید الیاف رسانا استفاده کرد [۱۰].

در تحقیقی فروغی^۲ و همکارانش الیاف پلی پیروول را به روش ترریسی با استفاده از دی کلرو استیک اسید (DCAA) به عنوان دوپنت و دی متیل فرمامید (DMF) در آب به عنوان حلال تولید نمودند [۱۱].

تولید موفقیت آمیز الیاف پلی پیروول به صورت رشته‌های بلند از محلول PPy-DCAA گزارش شده است. تصاویر SEM الیاف در شکل ۱-۳ نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود، الیاف یکنواخت می‌باشند و شکل سطح مقطع آنها نشان می‌دهد که الیاف متراکم هستند و هیچ تخلخلی در آنها وجود ندارد. مورفولوژی سطح آنها حاکی از آن است که سطح الیاف، اندکی ناهموار است ولی باز هم بدون تخلخل اند. این الیاف تا حدی انعطاف پذیرند که می‌توان آنها را گره زد [۱۱].

^۱ Wet spinning

^۲ Foroughi



شکل ۱-۳- تصاویر SEM حاصل از الیاف PPy بررسی شده (a) تصویر لیف زده شده (b) تصویر سطح مقطع لیف با بزرگنمایی متفاوت (d,f) تصاویر سطح با بزرگنمایی متفاوت (b,c,e) [۱۱].

۱-۴-۲- تولید الیاف رسانا به روش ذوب ریسی

صنعت نساجی پیشرفت‌های قابل توجهی در زمینه‌ی منسوجات هوشمند و چند کاربردی، کسب کرده است. بخصوص در بخش منسوجات با کارایی بالا^۱، این پیشرفت‌ها چشمگیر است. تولید الیاف رسانا به روش ذوب ریسی، به دلیل سرعت تولید بالا، فرایند آسان و هزینه کم دارای پتانسیل زیادی است، در قدیم ترکیبات رسانای کربن - پلیمر به کمک فرایند ذوب ریسی به صورت لیف درمی آمدند. ولی به دلیل بالا بودن محتوی پرکننده^۲ در این الیاف، جهت رسیدن به سطوح نفوذی رسانا (به خصوص در مواردی که لیف، تحت کشش قرار گیرد)، خواص مکانیکی الیاف حاصله، کم بود. امروزه به کمک کربن نانوتیوب، این مشکلات کاهش یافته است. کربن نانوتیوب دارای نسبت- های ظاهری بالایی است، پراکندگی آن کافیت و جریان الکتریکی حتی در مقادیر کم آن در زمینه پلیمری، به دست می آید [۱۲].

روش دیگری که در قدیم برای تولید الیاف رسانای تجاری استفاده می شد، پراکنده کردن ذرات رسانا مانند نقره، نیکل، آلومینیوم و... درون زمینه پلیمری است. برای بدست آوردن ترکیباتی با رسانایی بالا، هم غلظت‌های

¹ High performance

² Filler

بالای بارهای الکتریکی و هم مورفولوژی همگن ترکیبات ضروری بود. در این صورت، غلظت بالای پرکننده در زمینه پلیمری دلالت بر ترد و شکننده بودن زمینه و هزینه‌ی بالای تولید داشت [۱۲].

چون این الیاف توسط عملیات بافندگی، حلقه بافی و... به ساختارهای نساجی تبدیل می‌شوند. هدف از ذوب ریسی، تولید الیاف رسانا با حفظ خواص نساجی، مانند وزن سبک، ازدیاد طول، خمش، برش، تاب خوردگی و... می‌باشد. در فرایند ذوب ریسی، پرکننده‌های رسانا با پلیمرهای ترموپلاستیک مخلوط شده و ذوب ریسی انجام می‌گیرد. از پرکننده‌های رسانا، پلی‌آنیلین و پلی‌پیرول درون زمینه پلیمری پلی‌کاپرولاکتان و پلی‌اتیلن ترفتالات گلایکول و پلی‌پروپیلن، استفاده می‌شود.

رسانایی تک رشته‌های به دست آمده، رضایت بخش نیست. ذرات پلیمرهای رسانا به صورت کامل، پراکنده نشده‌اند و تجمع آنها به دلیل برهمکنش‌های درون مولکولی قوی آنهاست. فرایند ذوب ریسی این ترکیبات، به کمک تغییر دمای ذوب، زمان مخلوط کردن و سرعت مخلوط کردن، می‌تواند بهبود یابد [۱۲].

۱-۴-۳- پوشش دهی الیاف با پلیمرهای هادی

اگرچه پلیمرهای رسانا می‌توانند با روش الکتروشیمیایی به صورت فیلم یا الیاف درآیند، ولی در این صورت، خواص مکانیکی ضعیفی را از خود نشان می‌دهند که مانع از کاربرد آنها در صنعت نساجی می‌گردد. با توجه به این مشکل، پوشش نازک با محلول‌های رسانا روی سطح منسوجات باید به روش‌های منطقی برای تولید الیاف نساجی رسانا صورت گیرد. بسیاری از گروه‌های تحقیقاتی به صورت فعالانه در زمینه‌ی پوشش پلی‌پیرول روی پلی‌استر مشغول تحقیق می‌باشند. به علاوه، پوشش‌های پلی‌آنیلین (PANI) یا پلیمری شدن درجا^۲ روی پارچه‌های بی‌بافت و پارچه‌های پلی‌استری، نایلون ۶ و نومکس هم اخیراً گزارش شده است [۱۳].

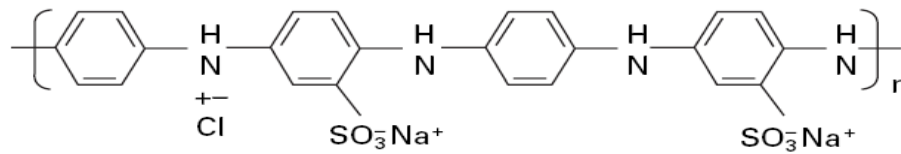
روش‌های دوپینگ موثر پلی‌آنیلین با دودسیل بنزن سولفونیک اسید^۳ و کامفور سولفونیک اسید^۴ گزارش شده است. زنجیرهای پلی‌آنیلینی تمایل دارند که به صورت ترکیبی از زنجیرهای گسترش یافته در درصدی از دو دسیل بنزن سولفونیک اسید شکل بگیرند. بنابراین باید در سیستم حلال / پلی‌آنیلین انتقال الکترون ما بین زنجیرهای پلیمری افزایش یابد. زمانی که حلال خارج می‌شود، تجمع فیلم گونه‌ی پلی‌آنیلینی در حد فاصل بین محلول و سطح جامد، جایگزین می‌شود. در تحقیقی تجمع خودبه خودی مولکولی، برای قرار دادن پلیمرهای رسانا روی سطح الیاف استفاده شده و به صورت موفقیت آمیز روی نخ و پارچه به کار رفته است. با غوطه‌ور سازی نخ‌های نساجی در محلول‌های پلی‌آنیلین، پوشش‌های پلی‌آنیلینی روی نخ‌ها ایجاد شد و خواص الکتریکی، الکترومکانیکی و مورفولوژی نخ‌های رسانا مورد مطالعه قرار گرفت. شکل ۱-۴ ساختار شیمیایی پلی‌آنیلین دوپ شده با کامفور سولفونیک اسید، را نشان می‌دهد [۱۴].

¹ Coating

² In situ polymerisation

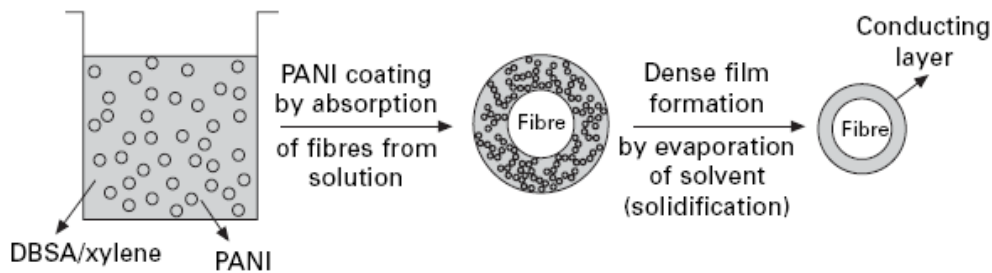
³ Dodecyl benzene sulfonic acid

⁴ Camphor sulfonic acid



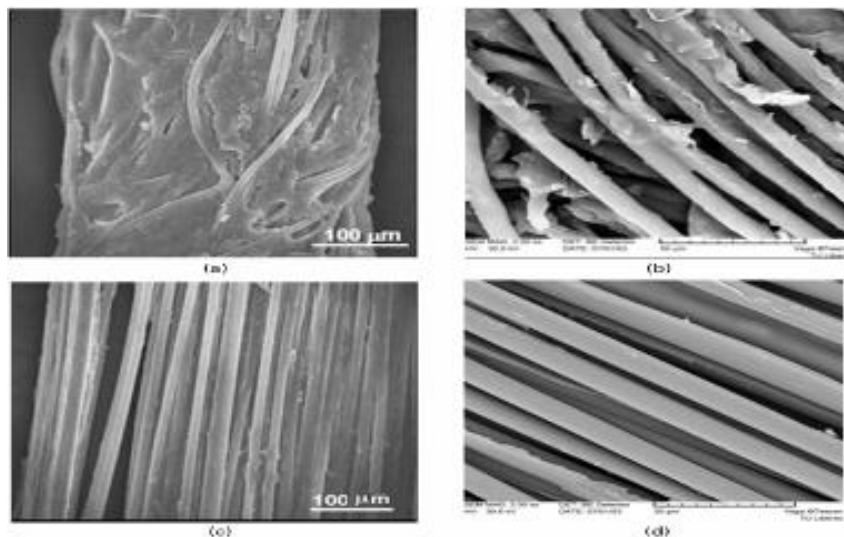
شکل ۱-۴- ساختار شیمیایی پلی آنیلین به فرم نمک [۱۴].

شکل شماتیکی فرایند پوشش دهی روی سطح الیاف با محلول های PANI در شکل ۱-۵ نمایش داده شده است.



شکل ۱-۵- نمای شماتیکی فرایند پوشش دهی الیاف با محلول پلی آنیلین [۱۴].

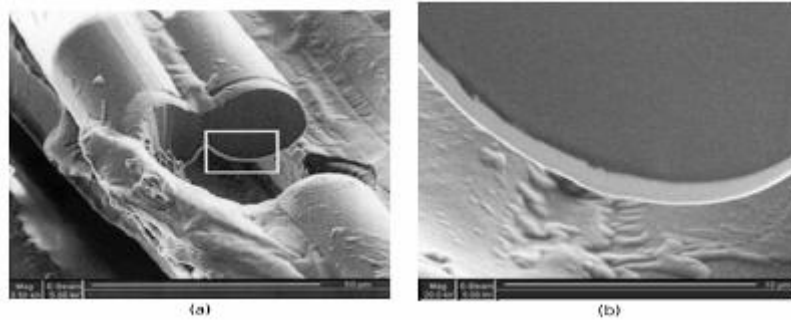
شکل ۱-۶- تصاویر SEM سطح الیاف پلی اتیلن ترفتالات^۱ (PET) ریسیده شده که با PANI پوشش داده شده والیاف فیلامنتی رسانا را نشان می دهد. ساختارهای ژئومتریکی نخهای فیلامنتی و ریسیده شده کاملاً متفاوت هستند. نخهای ریسیده شده شامل الیاف غیر ممتد فراوانی هستند که نشان دهندهی ساختارهای حجیم با شکاف های فراوان است [۱۴].



شکل ۱-۶- تصاویر SEM نخ پلی استر ریسیده شدهی پوشش داده شده با پلی آنیلین (a,b) والیاف فیلامنتی رسانا (c,d) [۱۴].

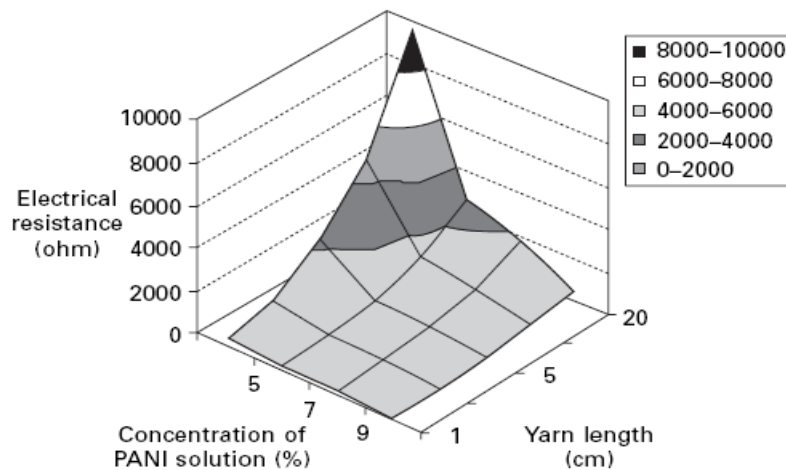
^۱ Poly ethylene terphetelate

بسیاری از این شکاف‌ها در طول فرایند پوشش دهی با ذرات PANI پر می‌شوند. در فرایند پوشش دهی، سطح حجیم نخ‌های ریسیده شده در مقایسه با نخ‌های فیلامنتی، باید بازده پرشوندگی با ذرات PANI بالاتری را به خود اختصاص دهند که در این صورت، رسانایی هم افزایش می‌یابد. شکل ۱-۷ تصاویر SEM حاصل از سطح مقطع نخ های پلی‌استر ریسیده شده پوشش داده شده با PANI را نشان می‌دهد. یک لایه نازک رسانای پلی‌آنیلینی ($\mu < 1$) روی سطح الیاف مشاهده می‌شود [۱۴].



شکل ۱-۷- تصویر SEM حاصل از سطح مقطع نخ پلی‌استر ریسیده شده و پوشش داده شده با پلی‌آنیلین [۱۴]

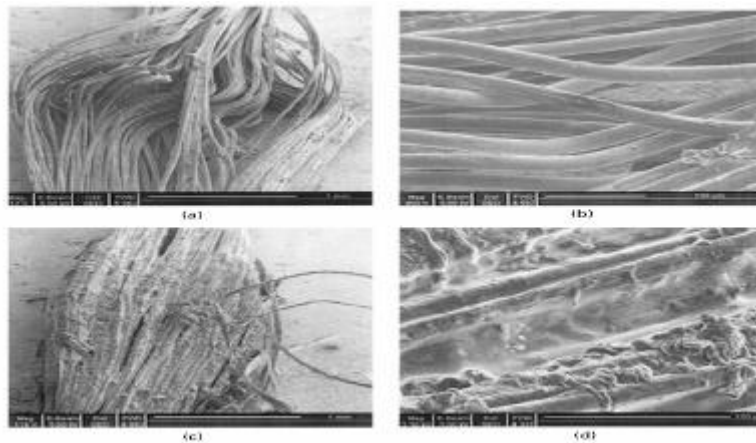
هرچه غلظت محلول PANI افزایش یابد، مقاومت الکتریکی نخ‌های پلی‌استر پوشش داده شده با PANI کاهش می‌یابد. آشکار است که غلظت محلول PANI برای به دست آوردن خواص الکتریکی مطلوب، مهم است. همان‌طور که در شکل ۱-۸ دیده می‌شود، مقاومت الکتریکی نخ‌های پلی‌استر پوشش داده شده با محلول ۰.۵٪ وزنی PANI به طور آشکار بیشتر از نخ‌های پلی‌استر روکش داده شده با محلول ۱۰-۷٪ وزنی PANI می‌باشد [۱۴].



شکل ۱-۸- نمودار مقاومت الکتریکی در مقابل غلظت پلی‌آنیلین برای نخ‌های پلی‌استر ریسیده شده و پوشش داده شده با پلی‌آنیلین [۱۴].

باید توجه داشت که انعقاد محلول‌های پلی‌آنیلینی با غلظت بالا در یک دوره زمانی کوتاه اتفاق می‌افتد. انعقاد سریع برای PANI با غلظت بالای ۸٪ اتفاق می‌افتد در حالی که برای محلول‌ها با غلظت ۳-۷٪، این فرایند کندتر است.

انعقاد محلول PANI وابسته به قدرت پیوندهای هیدروژنی درون و ما بین زنجیری و همچنین مابین گروه‌های آمین نوع دوم و سوم در PANI است. انعقاد محلول PANI باید به عنوان یک مانع برای پوشش یکنواخت سطح الیاف مورد توجه قرار گیرد. دمای محلول PANI به دلیل تبخیر شدن حلال، روی جامد شدن محلول تاثیر گذار است. برای بدست آوردن یک پوشش یکنواخت با استفاده از محلول PANI روی الیاف، دما، غلظت محلول و سرعت جمع آوری نخ باید کنترل شود. شکل ۱-۹ مورفولوژی الیاف پلی استر و پلی اتیلن روکش داده شده با پلیمر PANI را نشان می‌دهد. نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که با افزایش دمای موضعی و ولتاژ حداکثر جهت اندازه‌گیری رسانایی لایه‌ها، لایه‌های PANI که سبب رسانایی هستند، تخریب می‌شوند. در نتیجه زنجیرهای PANI به صورت موضعی قطع شده و رسانایی کاهش می‌یابد [۱۴].



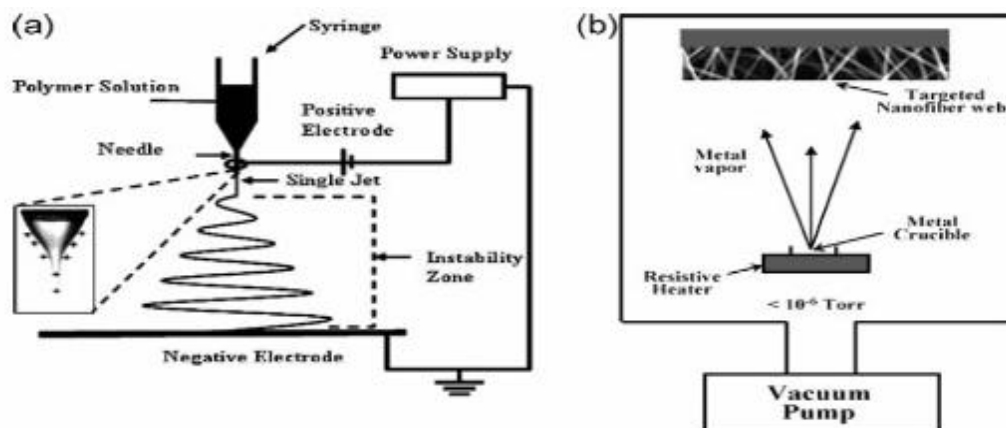
شکل ۱-۹- تصاویر SEM (a,b) الیاف پلی استر و (c,d) الیاف پلی اتیلن روکش داده شده با پلی آنیلین در دو بزرگنمایی متفاوت [۱۴].

۱-۴-۴- پوشش دهی الیاف با فلزات رسانا

روش دیگر جهت تولید نانوالیاف رسانا، ترکیب دو تکنولوژی الکتروریسی و جوشکاری فلزی است. جهت استفاده از این دو تکنولوژی به صورت هم زمان، اجزای فلزی و آلی باید با یکدیگر سازگار باشند. به کمک این روش، نانوالیاف رسانا در مقیاس وسیع جهت کاربردهای صنعتی قابل تولید می‌باشند [۱۵].

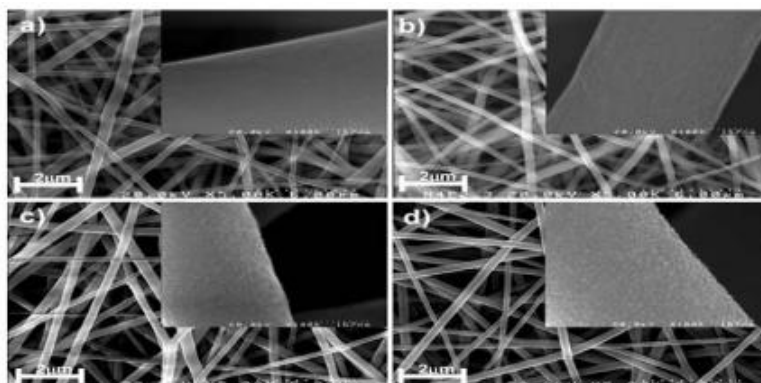
کیم^۱ و همکارانش لایه‌ای از نانوالیاف پلی اورتان به قطر 500 ± 5 nm جهت جوشکاری تهیه کردند. فلز مس مورد استفاده جهت جوشکاری نیز باید کاملاً خالص باشد. آنها با استفاده از دستگاهی بنام UEP-600 در محیط خلأ لایه‌ای با ضخامت‌های مختلف مس بر روی نانوالیاف قرار دادند. شکل ۱-۱۰ نمای شماتیکی جوشکاری را نشان می‌دهد [۱۵].

^۱ Kim



شکل ۱-۱-۱۰- نمای شماتیکی فرایند الکترورسی و جوشکاری با فلزات [۱۵].

شکل ۱-۱۱ تصاویر SEM حاصل از نانوالیاف پلی اورتان خالص و لایه حاصل شده از نانوالیاف پلی اورتان پوشش داده شده با فلز مس با ضخامت‌های مختلف را نشان می‌دهد. همان طور که انتظار می‌رفت، نانوالیاف الکترورسی شده دارای یک آرایش تصادفی هستند و ساختاری متخلخل دارند. این الیاف دارای خمیدگی و برش فراوان نیز هستند. تصویر با بزرگنمایی بیشتر نشان می‌دهد که مورفولوژی سطح نانوالیاف پلی اورتان خالص، صاف و یکنواخت است و دارای متوسط قطر حدود ۵۰۰ نانومتر می‌باشد. نانوالیاف پلی اورتان پوشش داده شده با فلز مس، اندکی زبر و ناهموار به نظر می‌رسند (تصویر b). وقتی ضخامت لایه‌ی مس به ۵۰ نانومتر افزایش یافت آشکارا مشاهده شد که نانوذرات ریز مس در سراسر سطح نانوالیاف تشکیل می‌شود (تصویر c). با افزایش ضخامت لایه‌ی مسی، نانوذرات نیز تدریجاً آشکار شد (تصویر d) و در نتیجه گفته شد که فلز مس به خوبی در سطح نانوالیاف رسوب کرده است. در شکل d مشاهده می‌شود که نانوذرات مسی تقریباً کروی شکل و دارای میانگین قطر ۲۳ نانومتر هستند. این محققان اعلام کردند شکل نانوذرات مسی نامنظم است و در مواقعی غیر کروی است که به دلیل تجمع و مهاجرت بیش از حد نانوذرات مس است. تجمع و مهاجرت نانوذرات مسی احتمالاً به دلیل بی‌ثباتی اتم‌های مسی که منجر به انرژی آزاد سطحی فراوان می‌شود، است.



شکل ۱-۱۱-۱۱- تصاویر SEM حاصل از الیاف پلی اورتان الکترورسی شده و جوشکاری شده با فلز مس با ضخامت‌های مختلف (a) ۰ نانومتر (b) ۱۰ نانومتر (c) ۵۰ نانومتر (d) ۱۰۰ نانومتر [۱۵].

۱-۵-کاربرد الیاف رسانا

۱-۵-۱- کاربرد کامپوزیتی از الیاف رسانا به عنوان محافظ امواج الکترومغناطیسی^۱ (EMI)

اگرچه الیاف مصنوعی بخشی وسیعی از مواد نساجی و صنعتی را به خود اختصاص داده اند، ولی خصوصیات عایق الکتریکی و آبگریزی نامطلوب آنها، معایب اجتناب ناپذیری را مانند تجمع بارهای الکتریکی در شرایط خشک و نیز انتقال امواج الکترومغناطیسی را به همراه دارد. یک جرقه‌ی کوچک از بارهای الکتریکی ممکن است سبب آتش سوزی و انفجار شود و همچنین انتقال امواج الکترومغناطیسی موجب تداخل این امواج می‌گردد که برای بدن انسان مضر است. برای برطرف کردن این مشکلات تحقیقاتی انجام گرفته است که شامل ریسندگی الیاف رسانا یا پوشش دهی الیاف با مواد رسانا مانند فلزات یا پلیمرهای ذاتاً رسانا است [۱۶].

همواره یک قسمت از امواج الکترومغناطیسی به دلیل بازتاب از سطح ماده‌ی جاذب و بازتاب‌های درونی چند گانه، کم می‌شود و بقیه‌ی موج بازگردانده می‌شود. اغلب محافظ‌های موثر امواج الکترومغناطیسی^۲ (EMI SE)، فلزی هستند. بازده نسبی محافظ‌ها توسط انعکاس و جذب امواج، تعیین کننده‌ی بسیاری از کاربردهای عملی است. محافظت امواج الکترومغناطیسی توسط انعکاس، نسبتاً مهم‌تر از جذب است [۱۶].

فلزات و یا مواد پوشش داده شده توسط فلزات، دارای محدوده وسیعی از محافظت مؤثر امواج الکترومغناطیسی (حدود ۴۰ دسی بلتا ۱۰۰ دسی بل) می‌باشند و به دلیل این که عمق پوسته‌ی آنها سطحی است، نمی‌توانند به عنوان جاذب امواج الکترومغناطیسی مورد استفاده قرار گیرند و در نتیجه این مواد به عنوان محافظ امواج الکترومغناطیسی منعکس کننده از سطح، به حساب می‌آیند. از سوی دیگر پلیمرهای هادی، هم در جذب و هم در انعکاس امواج الکترومغناطیسی توانا هستند و در نتیجه مزایای آشکاری نسبت به مواد محافظ فلزی از خود نشان می‌دهند.

میزان جذب حفاظ‌های EMI با افزایش عمق پوسته، افزایش می‌یابد که این امر با تغییر رسانایی الکتریکی و یا تغییر ثابت دی الکتریک پلیمرهای رسانا، کنترل می‌شود [۱۶].

پلی‌پیرول، یکی از پلیمرهای هادی است که دارای ویژگی‌های رسانایی بالا، سنتز راحت و پایداری محیطی خوب است. منسوجات مرکب رسانا، به کمک پلیمری شدن شیمیایی و یا الکتروشیمیایی پیرول، روی این منسوجات تولید می‌گردند. این منسوجات خواص مکانیکی خوبی ندارند اما خواص میکروویو و الکتریکی بالایی حاصل می‌گردد. منسوجات پوشش داده شده با PPy دارای پتانسیل کاربردی مانند قابلیت پراکندگی بارهای الکتریکی، حفاظ‌های EMI، جاذب امواج ماکروویو و عریض و... می‌باشند. در تحقیقی جهت بررسی کاربرد الیاف رسانا به عنوان محافظ امواج الکترومغناطیسی، پارچه‌ی PET که توسط پلیمر PPy پوشش دهی شده بود استفاده گردید و اثر رسانایی ترکیب روی استحفاظ مؤثر نسبی، توسط جذب و انعکاس، مورد بررسی قرار گرفت [۱۶].

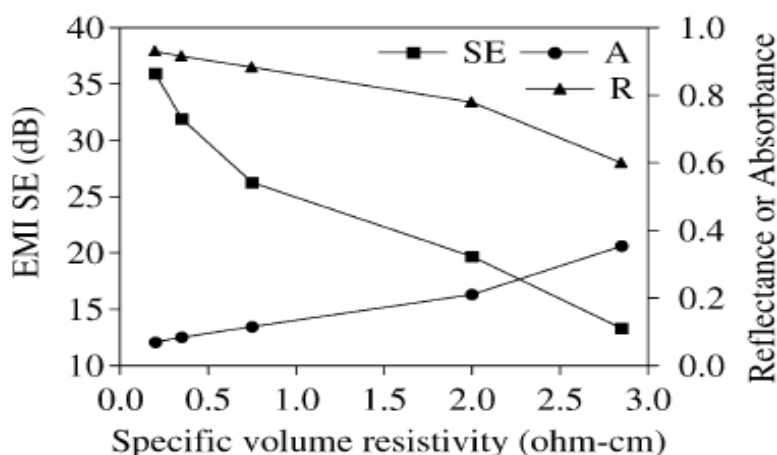
با انجام آزمایشات متعدد، میزان EMI SE، انعکاس (R_e)، جذب (A_b) و انتقال (T_r) امواج الکترومغناطیسی کامپوزیت PET/PPy با مقاومتهای متعدد اندازه گیری شده است.

¹ Electromagnetic interference

² Electromagnetic interference shielding effectiveness

مقدار میانگین SE، R_c و A_B منسوج PET/PPy در سراسر محدوده فرکانس به صورت تابعی از مقاومت حجمی ویژه در شکل ۱-۱۲ نشان داده شده است. همان طور که انتظار می رود، با کاهش مقاومت حجمی ویژه در ناحیه ی ۰/۷۵ تا ۲/۸۵ اهم-سانتی متر، میزان EMI SE به تدریج از ۱۳ دسی بل به ۲۶ دسی بل افزایش می یابد و در ناحیه ی مقاومت حجمی کمتر از ۰/۷۵ اهم سانتی متر به دلیل افزایش رسانایی به سوی رسانایی فلزات میزان EMI SE به صورت پلکانی تا ۳۶ دسی بل افزایش می یابد. میزان EMI SE ۳۶ دسی بلی در کامپوزیتهای حاوی PPy در مقایسه با سیستمهای پوشش داده شده با فلزات و یا پلی آنیلین مشابه، بیشتر است [۱۶].

همانطور که در شکل ۱-۱۲ مشاهده می شود، در این سیستمها افزایش EMI SE با رسانایی الکتریکی به دلیل چیره شدن محافظت به وسیله ی انعکاس، نسبت به محافظت به کمک جذب است.



شکل ۱-۱۲- نمودار مربوط به میزان محافظت نسبی نسبت به مقاومت حجمی ویژه [۱۶].

با کاهش مقاومت حجمی ویژه بازده محافظت به کمک انعکاس افزایش، در حالی که محافظت به کمک جذب کاهش می یابد که این امر به دلیل پوسته ی کم عمق این کامپوزیت با رسانایی الکتریکی بالاست. در این حالت بازده حفاظت نسبی به وسیله ی انعکاس و جذب با کنترل رسانایی الکتریکی، کنترل می شود.

در این کامپوزیت با مقاومت حجمی مخصوص ۰/۲ اهم، میزان EMI SE حدود ۳۶ دسی بل است. یعنی جایی که ۷ درصد از قدرت امواج الکترومغناطیسی شایع، توسط کامپوزیت جذب می گردد. بنابراین کامپوزیت PET/PPy هم در کاربردهای MEI SE و هم استحقاق MEI به کمک جذب امواج مفید می باشد [۱۶].

۱-۵-۲- کاربرد الیاف رسانا در پزشکی

کاربرد الیاف رسانا در پزشکی شامل سیستمهای رهایش دارو، تولید ماهیچه‌های مصنوعی، داربست^۱های مهندسی بافت^۲ و بیوسگرها است [۳، ۱۷].

¹ Scaffold

² Tissue engineering

(الف) مهندسی بافت

یکی از جدیدترین کاربردهای پلیمرهای رسانا، استفاده از آن‌ها در داربست‌های مهندسی بافت است. نانوالیاف الکترورسی شده بستر مناسبی برای اتصال و رشد رشته‌های عصبی^۱ هستند. از طرفی تحریکات الکتریکی، موجب افزایش رشد سلول‌ها و رشته‌های عصبی و نیز افزایش طول آن‌ها می‌شود. به منظور پاسخ‌گویی به تحریکات الکتریکی، از پوشش‌های پلیمری رسانا استفاده شده است [۱۷].

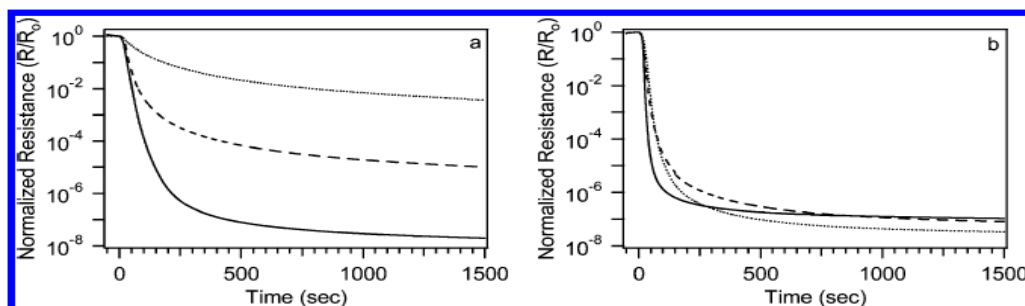
(ب) تولید ماهیچه‌های مصنوعی

پلیمرهای رسانا دارای حالت انتقالی اکسید/احیا هستند که موجب ایجاد قابلیت انقباض و انبساط آن‌ها از طریق اتصال یا از دست دادن الکترون است. با بکارگیری این پدیده، ماهیچه‌های مصنوعی که قادر به تولید نیرو و حرکت هستند تولید شده است [۳، ۱۸].

۱-۵-۳- کاربرد الیاف رسانا به عنوان حسگر گازی

از بین پلیمرهای رسانا، پلی آنیلین به دلیل فرآیندپذیری بالا جهت ایجاد فیلم‌ها با ضخامت کم و یکنواخت، در حسگر گازی مورد استفاده قرار می‌گیرد. با پروتونه یا دپروتونه شدن این فیلم‌های نازک، رسانایی آنها تغییر می‌کند. رسانایی وابسته به توانایی انتقال بار از میان اسکلت پلیمری و همچنین مابین زنجیرهای پلیمری است. هر عاملی که منجر به تغییر این دو اثر شود بر روی رسانایی پلی آنیلین تأثیر می‌گذارد [۴، ۱۹].

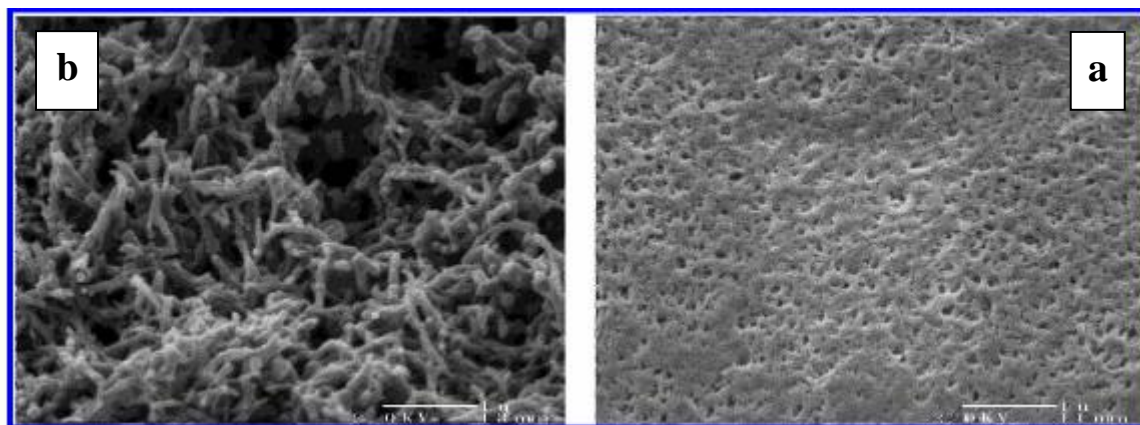
ساختارها به فرم نانوالیاف پلی آنیلینی به دلیل دارا بودن سطح مخصوص بالای آنها، منجر به پراکندگی سریع مولکولهای گاز درون ساختار می‌گردند و به همین دلیل توجه زیادی را به خود جلب کرده‌اند. محققان نانوالیاف پلی آنیلینی تهیه و به عنوان حسگر اسیدی، بازی، کاهنده‌ها، بخارات آلی و... مورد استفاده قرار داده‌اند. لایه‌ی نازکی از نانوالیاف پلی آنیلینی و لایه‌ای از پلیمر پلی آنیلین تهیه گردید تا حساسیت و زمان پاسخ نانوالیاف پلی آنیلینی را با فیلم پلی آنیلین مقایسه گردد. شکل ۱-۱۳ پاسخ لایه پلی آنیلین معمولی و لایه تهیه شده از نانوالیاف پلی آنیلینی با ضخامت‌های متفاوت را در مقابل گاز HCl با غلظت ۱۰۰ ppm نشان می‌دهد. محور y، محور مقاومت نرمالایز شده (R/R_0) است. R_0 مقاومت فیلم دوپ نشده قبل از در معرض گاز قرار دادن است و R مقاومت وابسته به زمان، بعد از در معرض گاز قرار دادن فیلم است. همان طور که در شکل مشاهده می‌شود، مقاومت لایه‌های پلی آنیلینی با قرار گرفتن در معرض گاز HCl تا 10^{-8} اهم کاهش می‌یابد. وابستگی ضخامت دو فرم از پلی آنیلین کاملاً متفاوت است. برای فیلم پلی آنیلین، پاسخ به HCl آهسته‌تر است و مطابق با ضخامت لایه در مقیاس زمان، کاهش می‌یابد. برای لایه‌های نانولیفی با ضخامت‌های متنوع، تغییر در حساسیت یا زمان پاسخ وجود ندارد. از مقایسه‌ی ضخامت لایه‌ها، ملاحظه می‌شود که نانوالیاف پلی آنیلینی، سریع‌تر همراه با تغییر بیشتری در مقاومت نسبت به فیلم پلی آنیلینی از خود نشان می‌دهند اگرچه ضخامت آنها در حدود ۲ برابر است ($2\mu\text{m}$ در مقابل $1\mu\text{m}$) [۱۹].



شکل ۱-۱۳- نمودار a پاسخ لایه‌های حاصل از فیلم پلی‌آنیلین (-) ۰/۳ میکرومتر (---) ۰/۷ میکرومتر (...) ۱ میکرومتر- نمودار b لایه‌های حاصل از نانوالیاف پلی‌آنیلین (-) ۰/۲ میکرومتر (---) ۰/۴ میکرومتر (...) ۲ میکرومتر در مقابل گاز HCl [۱۹].

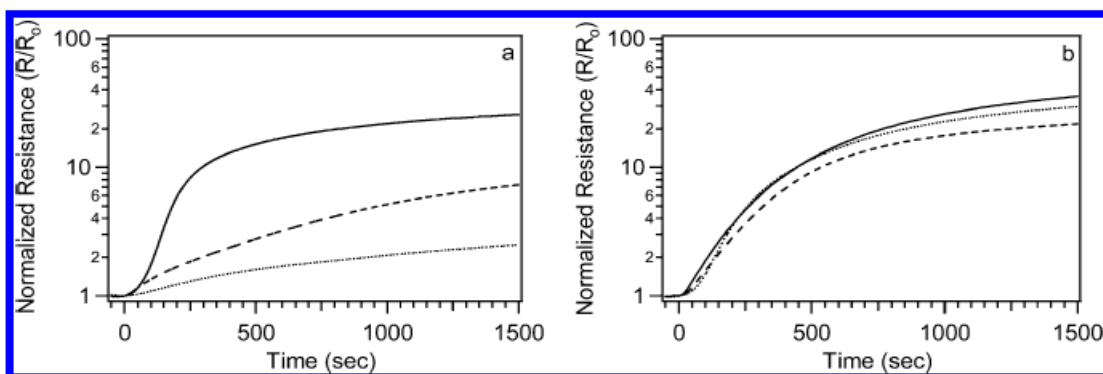
زمانی که پلی‌آنیلین در معرض گاز HCl قرار می‌گیرد، در یک دوره‌ی زمانی کوتاه افت شدیدی در مقاومت دیده می‌شود. پلی‌آنیلین توسط گاز HCl پروتونه می‌شود. بار الکتریکی ایجاد شده از میان اسکلت بندی توسط این پروتونه شدن با بار منفی حاصل از کلر، خنثی می‌شود. تغییرات در رسانایی با تشکیل بارهای مثبت (کاتیونهای رادیکالی) که به تنهایی در اسکلت بندی پلیمر حرکت می‌کنند، ایجاد می‌شود [۱۹].

شکل ۱-۱۳، تصاویر SEM حاصل از فیلم‌های پلی‌آنیلین معمولی و نانوالیاف پلی‌آنیلین را که به صورت بستر حسگری قالب‌گیری شده‌اند، را نشان می‌دهد [۱۹].



شکل ۱-۱۴- تصاویر SEM حاصل از لایه پلی‌آنیلین معمولی (a) و نانوالیاف پلی‌آنیلین (b) [۱۹].

پلی‌آنیلین و ترکیبات آن به طور وسیعی به عنوان حسگرهای آمونیاکی هم مورد استفاده قرار می‌گیرند. وقتی پلی‌آنیلین در معرض آمونیاک قرار می‌گیرد، دپروتونه شدن اتفاق می‌افتد و رسانایی تغییر می‌کند. شکل ۱-۱۵، پاسخ پلی‌آنیلین به فرم نانوالیاف و فرم معمولی را در برابر گاز آمونیاک، ۱۰۰ ppm نشان می‌دهد نمودارها نشان می‌دهد که هرچه ضخامت فیلم پلی‌آنیلینی افزایش می‌یابد پاسخ NH_3 هم از لحاظ حساسیت و هم سرعت، کاهش می‌یابد.



شکل ۱-۱۵- نمودار a پاسخ مربوط به فیلم پلی آنیلین معمولی با ضخامتهای (-) ۰/۳ میکرومتر (---) ۰/۷ میکرومتر و (-) ۰/۲ میکرومتر (.....) ۱ میکرومتر نمودار b مربوط به نانوالیاف پلی آنیلینی (-) ۰/۲ میکرومتر (---) ۰/۴ میکرومتر و (...) ۲ میکرومتر در برابر گاز آمونیاک [۱۹].

مشابه با در معرض اسید قرار گرفتن این فیلم‌ها، افزایش ضخامت پاسخ حسگرهای نانولیفی را تغییر نمی‌دهد. در فرم حساسیت و سرعت، با بکار بردن مقادیر بیشتری از NH_3 ممکن است مقدار ددوپینگ^۱ شدن، افزایش یابد. اما ددوپینگ شدن کامل، به سختی بدست می‌آید. مکانیسم ددوپینگ شدن بازها در پلی آنیلین متفاوت از اسیدهاست و ممکن است، برای چندمین پاسخ، آهسته‌تر و تغییرات مقاومت، کوچکتر صورت گیرد. اولاً مقدار زیادی از باز برای پوشش دادن کامل پلی آنیلین ذوب شده به فرم غیر رسانا مورد نیاز است به این دلیل که برای رسیدن به آستانه‌ی نفوذ از سطح رسانا به غیر رسانا، میزان دوپنت کمتری نیاز است. دوماً در فاز گازی رسیدن به ددوپینگ کامل سخت است. چون که پلی آنیلین در فرم بازی امرالدینی با دوپنت اسیدی آمونیاک در رقابت است. سوماً محصول آمونیاک و HCl یعنی NH_4Cl خنثی نیست. چون که در حضور مقداری از بخار آب هستند که ممکن است هیدرولیز گردد و دوباره به شکل HCl درآید. به دلیل عوامل ذکر شده، مدت زمانی که طول می‌کشد تا فیلم بر فرم بازی پاسخ دهد، نسبت به فرم اسیدی، بیشتر است.

تخلخل، مساحت سطحی و مورفولوژی فیلم‌ها می‌توانند توضیح دهند که چرا فیلم‌های معمولی نسبت به نانوالیاف آهسته‌تر پاسخ می‌دهند. تخلخل منجر به پراکندگی آسان گازها به داخل و خارج نانوالیاف می‌گردد و در نتیجه پاسخ‌های بهتر و سریع‌تری دریافت می‌شود. مساحت سطحی بزرگتر نانوالیاف و قطره‌های کم آنها به دلیل پراکندگی سریع‌تر درون سیلندرها با قطر کمتر منجر به پاسخ کوتاه‌تر می‌شود [۱۹].

به طور خلاصه، زمانی که نانوالیاف پلی آنیلینی و فیلم‌های عادی پلی آنیلینی باهم مقایسه می‌گردند، مساحت سطحی بالا، قطر کم نانوالیاف و طبیعت متخلخل نانوالیاف مزیت‌های بهتری را هم از جهت حساسیت و هم زمان پاسخ نشان می‌دهد.

پلیمر پلی پیرول یکی از پلیمرهای رساناست که به دلیل رسانایی الکتریکی بالا، سازگاری با محیط زیست و قابلیت پلیمری شدن بالا بیشتر از پلیمرهای رسانای دیگر مورد توجه واقع شده است در این تحقیق نیز مورد استفاده قرار گرفته است که در ادامه به معرفی پیرول پرداخته می‌شود.

¹ Dedoping