

پایداری هدایت الکتریکی در پلی استر روکش داده شده بوسیله پلی آنیلین

زهرا احمدی^۱-^x شراره شعری مقدم^۲- محمد حقیقت کیش^۳- علی شمس ناتری^۴

۱-دانشجوی دکتری-مهندسی شیمی نساجی و علوم الیاف دانشکده مهندسی نساجی دانشگاه صنعتی امیرکبیر

۲-کارشناس ارشد مهندسی شیمی نساجی و علوم الیاف دانشکده مهندسی نساجی دانشگاه صنعتی امیرکبیر

۳-هیئت علمی با درجه استاد دانشکده مهندسی نساجی دانشگاه صنعتی امیرکبیر

۴-دکتری شیمی نساجی و علوم الیاف - عضو هیئت علمی با درجه استاد یار دانشگاه گیلان

چکیده

مقاومت الکتریکی الیاف پلی استر بوسیله روکش دادن سطح الیاف با پلی آنیلین به روش تبخیر مداوم کاهش داده شد. کاهش مقاومت الکتریکی در حدود ۱۰^۹ برابر بوده است.

پایداری هدایت الکتریکی ایجاد شده ، در شرایط مختلف از جمله : شرایط محیط آزمایشگاه، محیط اسیدی ، حالت حفاظت شده با پارافین و بالاخره حالت پوشش داده شده با رزین اکریلیک به روش مداوم ، بررسی شد. در شرایط محیط آزمایشگاه ، مقاومت الکتریکی با گذشت زمان دارای سیر صعودی بوده و به تدریج از خاصیت هدایت الکتریکی الیاف کاسته می شود. در محیط اسیدی، ابتدا کاهش سریعی در مقاومت الکتریکی به علت اثر دوپه کنندگی اسید بوجود می آید و پس از آن با گذشت زمان ، تغییرات دارای روند خاصی نیست و هدایت الکتریکی ایجاد شده پایدار نمی باشد. در حالت حفاظت شده با پارافین، مقاومت الکتریکی الیاف تقریبا ثابت بوده و هدایت الکتریکی ایجاد شده با گذشت زمان تقریبا پایدار می باشد.

در حالت آخر (پوشش داده شده با رزین اکریلیک) مقاومت الکتریکی با گذشت زمان به سرعت افزایش یافته و هدایت الکتریکی کاهش می یابد.

واژگان کلیدی: پلی استر ، هدایت الکتریکی، پلی آنیلین، روکش دهی ، پایداری

مقدمه:

هدایت الکتریکی، الیاف نساجی را به دو دسته هدایت سطحی و هدایت حجمی تقسیم نموده اند. در هدایت سطحی مقاومت الکتریکی با محیط سطح مقطع لیف نسبت عکس دارد که این نوع هدایت برای الیاف آب گریز با مقاومت الکتریکی زیاد مانند پلی استر، پلی پروپیلن صادق می باشد. در هدایت حجمی مقاومت الکتریکی با سطح مقطع لیف نسبت عکس دارد که این نوع هدایت برای الیاف آبدوست پنبه، پشم و ویسکوز به کار می رود.(۱،۲)

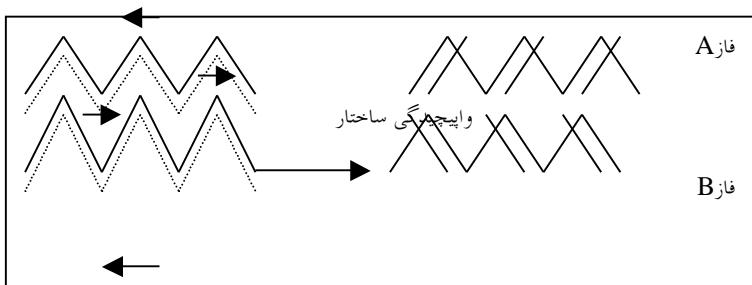
از آنجا که پلیمرها به طور نوعی عایق اند اندیشه وجود پلیمرهای رسانا به دشواری مورد قبول واقع شد. این مطلب در مورد پلیمرهای کووالانسی صادق است یعنی پلیمرهایی که در آنها هرچهار الکترون والانس کربن در پیوندهای کووالانسی درگیر است ولی در پلیمرهایی که آرایش مزدوج دارند وجود رسانایی الکتریکی چندان هم دور از واقعیت نیست. در پلیمرهای با آرایش مزدوج انتهایی کربن دارای هیبرید شدگی SP^2Pz می باشند هیبرید شدن SP^2Pz را می توان هیبرید شدن کربن SP^2 همراه با یک اریتال Pz جهت تشکیل پیوندهای π در نظر گرفت بدین ترتیب یک الکترون ناپیوندی در اریتال Pz وجود دارد که سیستم π مزدوج را در پلیمر به وجود می آورد. در شبکه پلیمر پیوندهای درون زنجیری قوی و برهم کنشهای بین زنجیری ضعیف است به عبارت دیگر الکترونهای π تنها در طول زنجیر پلیمر نامستقر بوده و از اینروست که از نظر الکترونی شبه تک بعدی می باشد. اگر در ساختار زنجیرهای پلیمر الکترونهای π می توانستند آزادانه در تمام طول زنجیر حرکت کنند یا به عبارتی تمام پیوندها طول یکسانی داشتند آنگاه پلیمر می توانست مانند یک فلز رسانایی الکتریکی بالا داشته باشد ولی وضعیت الکترونهای π و طول پیوندها به این صورت نیست که یک واپیچیدگی ساختاری (شکل ۱) ایجاد می نمایند. این برانگیختگی همانند دیواری است که منطقه مربوط به هر یک از فازهای A و B را در زنجیر پلیمر از هم جدا می کند. این برانگیختگی غیر خطی را سولیتون می نامند که یک رادیکال غیر موضعی است. در پلیمرهای رسانا می توان با استفاده از روشهای مختلف سولیتونها را با چگالیهای دلخواه به شبکه پلیمر تزریق کرد این عمل را دوپه کردن پلیمر می گویند. دوپه شدن به عنوان یک واکنش اکسایش در حالت جامد موجب افزایش رسانایی الکتریکی پلیمر می شود. اکسایش پلیمر را دوپه شدن نوع P و احیاء آن را دوپه شدن نوع n گویند. عوامل متعددی بر میزان رسانندگی الکتریکی پلیمرها اثر می گذارند. که از آن جمله غلظت دوپه کننده، نوع دوپه کننده و چگونگی دوپه شدن می باشد.(۱،۲،۳)

واکنشهای متعددی با کربوکاتیونها وجود دارد که در نهایت به کاهش رسانایی منجر می شود. نمونه ای از واکنشها به شرح زیر است:

- ۱ انتقال الکترون یا واکنشهای اکسایش احیاء
- ۲ انتقال پروتون یا واکنشهای اسید و باز
- ۳ واکنشهایی که به تشکیل پیوند کووالانسی منجر می شود.(۱،۲)

پلی آنیلين

در بین پلیمرهای مختلف پلی آنیلين که دارای هدایت بسیار خوب و نسبتاً پایدار می باشد، به دلیل در دسترس بودن آن انتخاب شده است. پلی آنیلين در حالت ناخالص یعنی آنیلين سیاه که به شکل آمین است عایق الکتریکی می باشد. پلی آنیلين رسانایی الکتریکی به شکل نمک بوده و اخیراً کشف شده است.



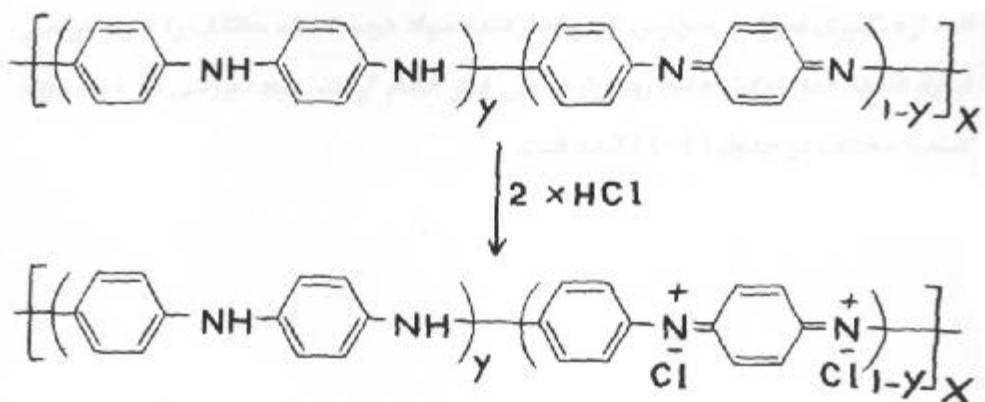
شکل ۱- واپیچیدگی ساختاری و ایجاد پیوندهای یک در میان و مستقر

پلی آنیلين که به صورت نمک کلراید Emeraldine سنتز گردیده بوسیله محلول هیدروکسید آمونیاک می تواند پروتون زدایی گردد که محصول حاصله Emeraldine بازی می باشد و رنگ آن آبی تیره است. از طریق عمل کردن Emeraldine بازی با محلول آبی اسیدهای پروتونی عمل دوپینگ صورت می گیرد که موجب افزایش ۹ تا ۱۰ برابر هدایت مخصوص می گردد، که این با محلول آبی ۱

مولار HCl به ماکریم مقدار خود می رسد. شکل ۲ - چگونگی عمل دوبه شدن پلی آنیلین در حالت Emeraldine بازی و بوسیله محلول اسید

کلریدریک را نشان می دهد. هدایت الکتریکی پلی آنیلین دوبه شده به همراه وزن مولکولی زنجیره پلی آنیلین افزایش می یابد. در وزن مولکولی بالاتر از ۱۵۰۰۰ میزان افزایش هدایت الکتریکی خیلی کم بوده و تقریباً ثابت می باشد. با افزایش آرایش یافته مولکولهای پلی آنیلین هدایت الکتریکی آن افزایش می یابد. (۱۶۸,۴)

شکل ۲- چگونگی عمل دوبه شدن پلی آنیلین در حالت Emeraldine بازی و بوسیله محلول اسید کلریدریک



روشهای افزایش هدایت الکتریکی الیاف

Georg و همکاران سطح مواد نساجی را بوسیله پلی آنیلین و پلی پیروول روکش دادند. از پر سولفات آمونیوم بعنوان اکسید کننده برای پلی آنیلین و از کلریدریک فریک بعنوان ماده اکسیدان برای پلی پیروول استفاده نمودند و به روش شیمیایی عمل روکش دادن را انجام دادند.(۱)

Kuhn و همکارانش بررسیهایی روی مواد نساجی روکش داده شده به دو روش الکترو شیمیایی و شیمیایی انجام دادند و خواص فیزیکی و الکتریکی آنها را اندازه گیری نمودند، همچنین اثر پایدار کننده و مواد دوبه کننده مختلف را مورد بررسی قرار دادند. عمل روکش دادن روی پارچه پلی استر انجام گردید.(۱)

Heisey و همکارانش (۱۹۹۳) سطح الیاف نایلون، نخ پلی استر و پارچه شیشه ای را بوسیله پلی پیروول روکش داده و خواص سطحی آنها را مورد بررسی قرار دادند. برای نایلون مقاومت الکتریکی در حدود $10^3 \times 6/1$ اهم بر سانتیمتر و برای نخ پلی استر ۸۰۰ اهم بر سانتیمتر برای پارچه شیشه ای ۱۵ اهم بر سانتیمتر بدست آمد.(۱)

Chaochou و همکارانش (۱۹۹۵) عمل روکش دادن بطريقه فاز بخار سطح پلی پیروول روی سطح الیاف روکش داده را مورد بررسی قرار دادند و توانستند با سرعت حدود $1/5 - 5/1$ m/min عمل روکش را روی الیاف PPTA انجام دهن و هدایت الکتریکی در حدود $68/0$ S/Cm بدست آورندن.(۱)

Bhadani و همکارانش (۱۹۹۳) پلی پیروول و پلی تیوفن را به روش الکتروشیمیایی بر روی الیاف طبیعی نظیر پنبه و ابریشم روکش دادند که نتایج آزمایشات ایشان در مطالعات انجام گرفته که در فوق اشاره شد رووشی برای پایدار نگهداشتمن مقاومت الکتریکی ارائه شده است.(۱, ۷, ۸, ۳۵, ۶۰) در مطالعات انجام گرفته که اشاره گردید رووشی برای پایدار نگهداشتمن مقاومت الکتریکی ارائه نشده است و در مقاله حاضر تاثیر روکش دهی با شمع و رزین اکریلیک بررسی شده است.

تجربیات

مواد و وسایل مورد استفاده:

استحکام سنج (فایبر گراف) فاصله بین دو فک 3 cm و سلول 100 CN استفاده شد. Vibromat ، میکروسکوپ بیولوژیک مجهز به دوربین عکاسی، اهم متربرای اندازه گیری مقاومت الکتریکی نخ و استحکام سنج نخ، دستگاه اندازه گیری مقاومت Rothschild که قابلیت اندازه گیری مقاومت الکتریکی زیادتر از 10^{11} اهم را دارد. نخ فیلامنتی پلی استر نمره $286/68$ آنیلین تازه تقطیر شده، پرسولفات آمونیوم آزمایشگاهی Merck اسید سولفوریک Merck 95% اسید کلریدریک 37% Merck پیروگالول شوینده و متورم کننده ، Invalon HTB آب م قطر

روکش دادن سطح الیاف پلی استر به وسیله پلی آنیلین به روش تبخیر مداوم

ابتدا شستشوی نخ پلی استر توسط شوینده نانوینیک انجام گرفته و جهت برطرف نمودن اثر شوینده ، نخ توسط آب گرم و سپس با آب جاری آب کشی گردیده و با استفاده از یک خشک کن ، نخ شسته شده خنک شده در این مرحله فیلامنتهای نخ شسته شده از یکدیگر جدا می شوند که نشان دهنده کامل بودن عمل شستشو می باشد. پس از آغشته شدن به محلول اکسیدان و متورم کننده، نخ وارد مبرد می شود که در آن گاز ازت حاوی بخار آنیلین با فشار $1/5\text{ bar}$ جریان دارد. دمای گاز عبوری از مبرد بوسیله آب در حال گردش با دمای 1 تا 3 درجه سانتیگراد ثابت نگه داشته می شود. در اثر تماس بخار آنیلین با نخ پلی استر آغشته به اکسیدان و اکتش پلیمریزاسیون آنیلین روی سطح الیاف انجام می گیرد، که تغییر رنگ به سبز تیره گویای انجام واکنش پلیمریزاسیون فرم Emeraldine بازی (پلی آنیلین هادی) است. تغییر رنگ از وسط مبرد آغاز شده و به تدریج تا انتهای مبرد کامل می شود. سرعت متور پیچنده $13/6$ دور بر دقیقه و سرعت حرکت



شکل-۲- نمای کلی از دستگاه روکش دهی الیاف به روش تبخیر مداوم

نخ $1/5\text{ m/min}$ می باشد. در حین انجام فرآیند، آنیلین تازه تقطیر شده که بی رنگ می باشد تدریجاً زرد رنگ می گردد. همچنین بخار آنیلین خارج شده از مبرد که توسط اسید سولفوریک جهت جلوگیری از پخش شدن در محیط آزمایشگاه جذب می گردد، باعث تیره شدن رنگ اسید سولفوریک می شود.

بررسی زمان پایداری هدایت در شرایط مختلف

۱- محیط آزمایشگاه

روش انجام آزمایش

نمونه ای 8 لی از مناطق مختلف نخ پلی استر روکش داده شده با پلی آنیلین تهیه گردید. نمونه فوق بین دو گیره که با فاصله 5 cm از یکدیگر روی پایه ای نصب شده بودند، محکم شد. به این ترتیب در طی زمان آزمایش ، طول نمونه و کشش وارد بر آن ثابت نگه داشته شد. جهت کم کردن اثر تغییرات شرایط محیطی در طی زمان آزمایش ، بر نتایج حاصله ، این نمونه داخل یک دسیکاتور قرار داده شدو سیمه های رابط متصل شده به گیره ها ، از میان درپوش آن عبور داده شد. از طریق سیمه های رابط مقاومت نمونه بوسیله اهم متر دیجیتال در زمانهای متوالی تا 1315 ساعت اندازه گیری شد.

نتایج

نتایج بدست آمده از اندازه گیری مقاومت نمونه در زمانهای متوالی تا ۱۳۱۵ ساعت ، مطابق شکل ۱ نشان می دهد که تغییرات مقاومت با گذشت زمان دارای سیر صعودی می باشد و هدایت ایجاد شده علاوه بر عدم پایداری رو به کاهش است جدول ۱- خواص الیاف پلی استر روکش داده شده با پلی آنیلین را نشان میدهد.

جدول ۱- مقاومت الکتریکی ، خواص مکانیکی و دانسیته خطی الیاف پلی استر روکش داده شده با پلی آنیلین

	X	S.D	S.E
Resistance (ohm/cm ²)	۱۸/۰۸	۲/۶۵	۱/۲۴
Elongation%	۳۳/۵۰۵	۱/۸۷	۰/۸۵
Linear Density(den.)	۴/۳۸	۰/۱۹	۰/۰۹
Tensile Strength(CN)	۲۰/۳۸۳	۰/۵۷۴	۰/۲۷

۲- شرایط محیط اسیدی

نمونه ای ۸ ل از مناطق مختلف نخ پلی استر روکش داده شده با پلی آنیلین تهیه گردید. نمونه فوق بین دو گیره که با فاصله ۵ Cm از یکدیگر روی پایه ای نصب شده بودند، محکم شد. به این ترتیب در طی زمان آزمایش ، طول نمونه و کشش وارد بر آن ثابت نگه داشته شد. برای داشتن محیط اشباع اسیدی محتوی اسید کلریدریک ۳۷٪ در محفظه پایین دسیکاتور ، و نمونه در محفظه بالای آن بر روی صفحه مشبك مخصوص قرار داده شد. اندازه گیری مقاومت نمونه، از طریق سیمهای رابط عبور داده شده از میان درپوش ، بوسیله اهم متر دیجیتال، در زمانهای متوالی تا ۱۳۱۵ ساعت انجام شد.

مشاهدات و نتایج

در زمانهای ابتدایی انجام آزمایش (حدود ۱۲۰ ساعت اول) ، نتایج بدست آمده از اندازه گیری مقاومت نمونه در زمانهای متوالی تا ۱۳۱۵ ساعت ، مطابق شکل ۲ نشان می دهد که تغییرات مقاومت با گذشت زمان دارای روند کاهشی همراه با نوساناتی می باشد. بنابراین در شرایط محیط اسیدی هدایت ایجاد شده با گذشت زمان پایدار نیست. جدول ۲- خواص الیاف پلی استر روکش داده شده با پلی آنیلین را در شرایط محیط اسیدی نشان می دهد.

۳- شرایط حفاظت شده

نمونه ای ۸ ل از مناطق مختلف پلی استر روکش داده شده با پلی آنیلین به طول ۵ تهیه گردید. به دو سر این نمونه سیمهای رابط متصل شد. به منظور حذف اثرات جانبی هوا بر روی نمونه ، از پارافین برای پوشش دادن آن استفاده گردید. برای عمل پوشش دادن ابتدا پارافین جامد درون بشری با استفاده از هیتر ذوب شد سپس پارافین ذوب شده در اطراف نمونه که داخل لوله آزمایشی (با دو سر باز) قرار داده شده بود، قالبگیری شد. در مدت انجماد پارافین ، نمونه تحت کشش ، ثابت نگه داشته شد. مقاومت نمونه فوق در زمانهای متوالی تا ۲۴۶۷ ساعت توسط اهم متر دیجیتال اندازه گیری شد.

مشاهدات و نتایج

بر اساس نتایج بدست آمده از اندازه گیری مقاومت نمونه در زمانهای متوالی تا ۲۴۶۷ ساعت، با توجه به نتایج می توان گفت که مقاومت با گذشت زمان ثابت بوده و هدایت در این شرایط پایدار می باشد. چگونگی تغییرات مقاومت مخصوص جرمی پلی استر روکش داده شده با پلی آنیلین بر حسب زمان (زمان بررسی پایداری هدایت) در شرایط حفاظت شده با پارافین در توسط منحنی ۳- نشان داده شده است.

۴- روش مداوم روکش دادن نخ پلی استر فیلامنتی با پلی آنیلین و پوشش دادن با رزین اکریلیک

ابتدا نخ پلی استر فیلامنتی مطابق روش توضیح داده شده مراحل مختلف را طی کرده و با پلی آنیلین روکش داده می شود، اما قبل از پیچیدن توسط پیچنده، به رزین اکریلیک آغشته شده، جهت خشک شدن از مقابل یک خشک کن عبور کرده، سپس توسط پیچنده بر روی بوبین کوچکی پیچیده می شود.

بررسی زمان پایداری هدایت

نمونه ای ۸ لا از مناطق مختلف نخ مورد آزمایش (نمونه فوق) تهیه گردید. این نمونه بین دو گیره که با فاصله ثابت ۵ از یکدیگر بر روی پایه ای نصب شده بودند، محکم شد. به این ترتیب در طی زمان آزمایش طول نمونه و کشش وارد بر آن، ثابت نگه داشته شد. مقاومت نمونه فوق در زمانهای متوالی تا ۷۰۲ ساعت، توسط اهم متر دیجیتال، اندازه گیری شد.

مشاهدات و نتایج

نتایج بدست آمده از اندازه گیری مقاومت نمونه در زمانهای متوالی تا ۷۰۲ ساعت، مطابق جدول ۳- نشان می دهد که مقاومت نمونه دارای روند افزایشی شدیدی بوده و در این روش هدایت ایجاد شده با گذشت زمان پایدار نمی باشد. چگونگی تغییرات مقاومت مخصوص جرمی بر حسب زمان (زمان بررسی هدایت) توسط منحنی ۴- نشان داده است.

جدول ۲- مقاومت الکتریکی، خواص مکانیکی و دانسیته خطی نخ پلی استر روکش داده شده با پلی آنیلین و پوشش داده شده با رزین اکریلیک

	X	S.D	S.E
Resistance(ohm.gr/cm ²)	۲۸/۲۲	۲/۹۷	۱/۳۹
Elongation%	۲۶/۵۳	۳/۶۲	۱/۶۵۵
Linier Density(den.)	۵۲۸/۴	۲/۵۱ × ۱۰ ^{-۳}	۱/۱۷۵ × ۱۰ ^{-۳}
Tensile Sterength(CN)	۱۳۵۳/۳۳	۳۷/۱۱	۱۷/۳۷

بحث ونتیجه گیری

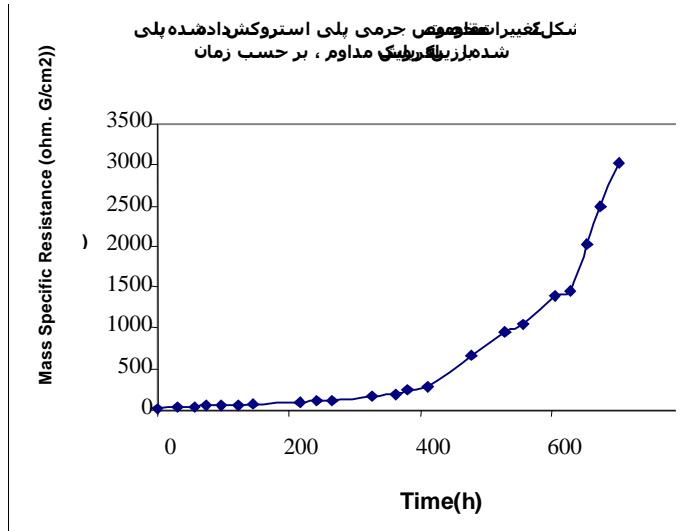
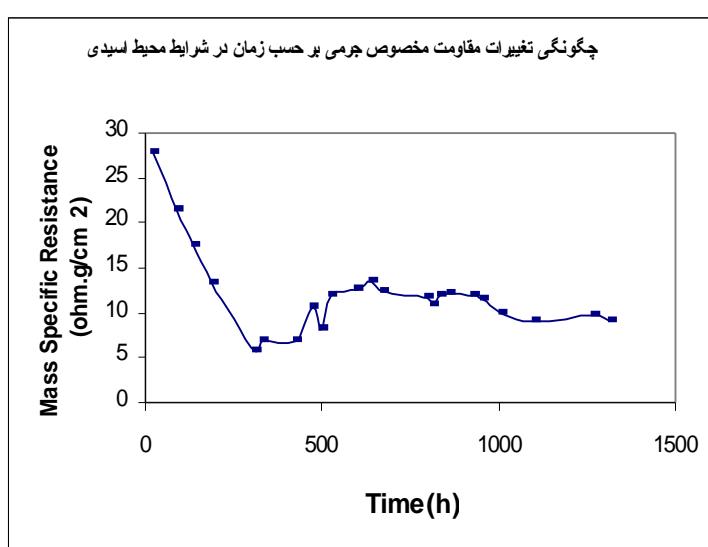
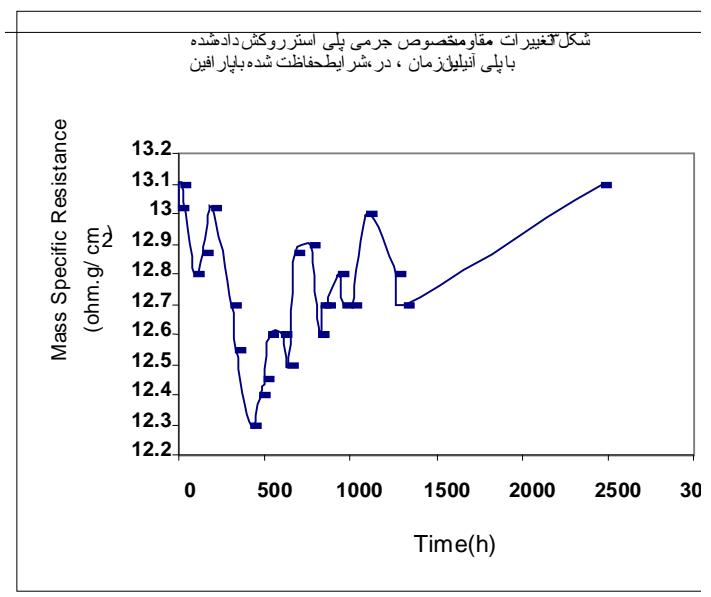
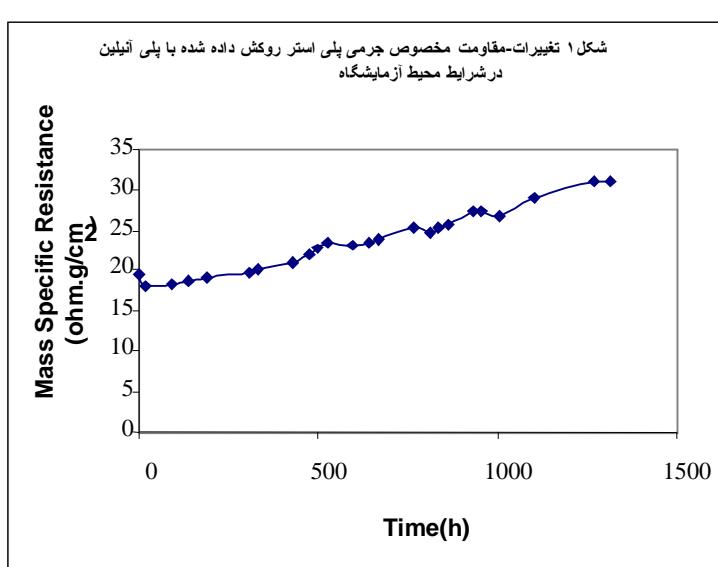
در تحقیقات قبل مشاهده گردیده است که هدایت الکتریکی پلی آنیلین نسبت به زمان پایدار نمی باشد. جهت مطالعه پایداری هدایت الکتریکی پلی آنیلین نسبت به زمان در شرایط محیطی متفاوت، نخ فیلامنتی پلی استر با پلی آنیلین روکش داده شد و در شرایط محیط آزمایشگاه، محیط اسیدی و حالت پوشش داده شده با پارافین پایداری هدایت الکتریکی نسبت به زمان اندازه گیری شد.

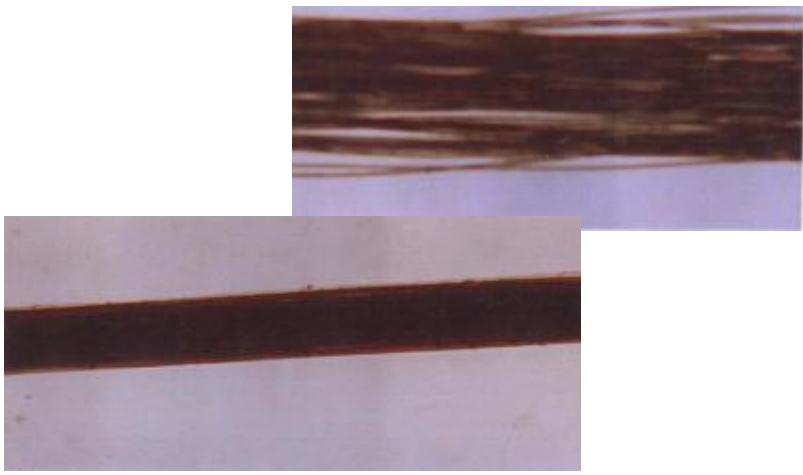
مقاومت الکتریکی نخ فیلامنتی پلی استر عمل نشده به وسیله دستگاه اندازه گیری مقاومت الکتریکی Rothschild ۳۰۰ اندازه گیری شد. مقاومت مخصوص جرمی نخ پلی استر برایر با $9/42 \times 10^9$ ohm.gr/cm² بود. به وسیله روکش دهندا مداوم نخ فیلامنتی پلی استر با پلی آنیلین، مقاومت مخصوص جرمی آن از $9/42 \times 10^9$ ohm.gr/cm² به $10^9 \times 10^9 18/08$ کاهش داده شد.

پایداری هدایت الکتریکی نخ پلی استر روکش داده شده با پلی آنیلین، در هوای آزمایشگاه مورد بررسی قرار داده شد. مشاهده گردید که مقاومت الکتریکی نخ پلی استر روکش داده شده با گذشت زمان افزایش می یابد.

در بررسی پایداری هدایت الکتریکی نخ پلی استر روکش داده شده با پلی آنیلین، در محیط اسیدی ابتدا یک کاهش سریع در مقاومت مخصوص جرمی از $27/74$ ohm.gr/cm² به $5/82$ ohm.gr/cm² مشاهده می شود که می تواند به علت خاصیت دوه کندگی اسید باشد، سپس تغییرات مقاومت الکتریکی روند مشخصی ندارد. بنابراین هدایت الکتریکی اولیه در محیط اسیدی پایدار نمی باشد. برای بهبود پایداری خاصیت هدایت الکتریکی، نخ پلی استر روکش داده شده با پلی آنیلین بوسیله پارافین پوشش داده شد. در نتیجه این عمل مقاومت مخصوص جرمی در محدوده $12/34$ ohm.gr/cm² تا $13/12$ ohm.gr/cm² تقریبا ثابت ماند.

در مقایسه نایج بدست آمده، می‌توان بیان نمود که نسبت مقاومت پس از ۱۳۱۵ ساعت (زمان اندازه گیری) به مقاومت اولیه برای نخ پلی استر روکش داده شده با پلی آنیلین، در شرایط هوای آزمایشگاه برابر با $1/46$ می‌باشد که این نسبت برای نخ پلی استر روکش داده شده با پلی آنیلین در شرایط حفاظت شده با پارافین، در زمان ۲۴۶۷ ساعت به $1/007$ کاهش یافت. با توجه به نتیجه حاصله، از حالت پوشش داده شده با پارافین، از رزین اکریلیک برای پوشش دهی به روش مداوم استفاده شد. مشاهده گردید که مقاومت مخصوص جرمی نخ روکش داده شده با پلی آنیلین و پوشش داده شده با رزین اکریلیک به روش مداوم در طی ۷۰۲ ساعت زمان اندازه گیری از $26/82 \text{ ohm.gr/cm}^2$ به $30.19/0.7 \text{ ohm.gr/cm}^2$ افزایش یافت. ملاحظه گردید که برای پایدار ماندن هدایت الکتریکی نخهای روکش داده شده میتوان از پوشش مناسبی استفاده نمود برای تعیین پوشش مناسب نیاز به ادامه کار می‌باشد.





الف

ج

شکل ۳- نمای طولی از فیلامنت پلی استر الف - عمل نشده ب- عمل شده با پلی آنیلین ج- روکش داده شده با رزین اکریلیک

منابع و مراجع مورد استفاده

- ۱- شمس ناتری، اندازه گیری مقاومت الکتریکی الیاف و بررسی یک روش انجامد هدایت الکتریکی در الیاف، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی امیر کبیر، دانشکده مهندسی نساجی، سال ۱۳۷۵
- ۲- ارسلانی، ناصر و دادرس اکبر، انتظامی علی اکبر، دوپه کردن پلیمرهای رسانای الکتریسیته، علوم و تکنولوژی پلیمر، شماره سوم، آبان ۱۳۷۱.
- ۳- ارسلانی، ناصر و انتظامی علی اکبر، کاربرد پلیمرهای رسانا، علوم و تکنولوژی پلیمر، سال چهارم، شماره دوم، مرداد ۱۳۷۰
- ۴- پور عباس، بهزاد، انتظامی علی اکبر، سولیتون، پلارون و بی پلارون در پلیمرهای رسانا، علوم و تکنولوژی پلیمر، سال چهارم، شماره چهارم، بهمن ۱۳۷۰.
- ۵- احمدی زهراو شعری مقدم، شراره، حقیقت کیش، محمد و شمس ناتری، علی، پایداری هدایت الکتریکی در پلی استر روکش داده شده بوسیله پلی آنیلین، پایان نامه کارشناسی، دانشگاه صنعتی امیر کبیر، دانشکده مهندسی نساجی، سال ۱۳۷۶.

6-Yading Wang and M.F.Rubner, 'An Investigation of Conductivity Stability of Acid- Doped Polyanilines' Synthetic Metals. 1992, 47, 255-266.

7-G.Macdiarmid and Arthur J. Epstein, 'The Polyanilines: Potential Technology Based on New Chemistry and New Properties', Science and Application of Conducting Polymers', Adam Hilger, Norway, May 1990, 28-31.

8- L. Bretherick, 'Hazards in the Chemical Laboratory' the Royal Society of Chemistry, London, third edition, April 1981, P-140-141.

9- Morton, M., Hearl, J.W.S., Physical Properties of Textile Fibers" Textile Institute ,1985, England.