

بررسی خواص فیلم پلی آنیلین و کامپوزیت‌های تهیه شده به روش شیمیایی

Investigating the Characteristics of Polyaniline and its Composite Films Prepared by Chemical Method

حسین عیسی زاده^{۱*}، علیرضا ظهیری^۲

۱ - کرمان، دانشگاه شهید باهنر، دانشکده فنی و مهندسی، گروه مهندسی شیمی، صندوق پستی ۷۶۱۷۵/۱۳۳

۲ - بابل، دانشکده فنی و مهندسی، صندوق پستی ۴۸۴

دریافت: ۸۳/۵/۱۰، پذیرش: ۸۴/۳/۱۰

چکیده

در این پژوهش، فیلم پلی آنیلین به روش شیمیایی و با استفاده از پتاسیم یدات به عنوان اکسنده در محلول‌های آبی و غیرآبی تهیه شده است. اثر نوع حلال مانند آب، اتیل استات، اتیلن گلیکول مونو متیل اتر و اتیل متیل کتون همچنین، اثر نوع ماده افزودنی مانند پلی اتیلن گلیکول، پلی وینیل الکل و پلی وینیل استات روی خواص فیلم تهیه شده از قبیل رسانایی و شکل‌شناسی بررسی شده است. نتایج نشان می‌دهد که ساختار ذرات تشکیل دهنده پلیمر و هدایت الکتریکی فیلم بستگی به نوع محلول، مواد افزودنی و غلظت آن دارد. با افزایش غلظت ماده افزودنی، هدایت الکتریکی فیلم کاهش یافته، بهترین رسانایی زمانی بدست آمد که از محلول آبی و محلول آبی / غیرآبی اتیل استات به طور جداگانه استفاده شد. همچنین، غلظت ماده افزودنی و نوع حلال بکار برده شده اثر زیادی روی یکنواختی ذرات تشکیل دهنده پلیمر دارند.

واژه‌های کلیدی

پلی آنیلین، کامپوزیت، محیط غیرآبی، رسانایی، شکل‌شناسی

مقدمه

جمله بحث‌های رو به رشد و مورد علاقه پژوهشگران، تحقیق در مورد پلیمرهایی است که فعالیت الکتروشیمیایی دارند. این مواد شامل پلیمرهایی با سامانه π مزدوج هستند که ساختار الکترونی آنها بطور مشخص با فرایندهای شیمیایی و الکتروشیمیایی اصلاح شده، عموماً

یکی از خواص پلیمرها عایق بودن آنهاست. در سال ۱۸۶۲ لتبای از اکسایش آنیلین در محلول سولفوریک اسید توانست پلی آنیلین را روی الکتروود پلاتین رسوب دهد [۱]. همچنین، سینتیک و سازوکار اکسایش آنیلین توسط موهیلنر و همکارانش بررسی شده است [۲]. از

Key Words

polyaniline, composite, non-aqueous media, conductivity, morphology

چنانچه شرایط اکسایش قویتری بکار گرفته شود، امرالدین پروتون دار شده می‌تواند به پرنیگرانیلین پروتون دار شده تبدیل شود که آبی رنگ بوده، ممکن است رسانا باشد و چنانچه با باز شستشو شود به شکل پرنیگرانیلین پایه که بنفش رنگ و عایق است در آید [۶] (طرح ۱ الف)). در محلول اسیدی، آنیلین به شکل کاتیون آنیلینوم موجود است و رادیکال کاتیون آنیلین به عنوان اولین محصول اکسایش فرض می‌شود (طرح ۱ ب)).

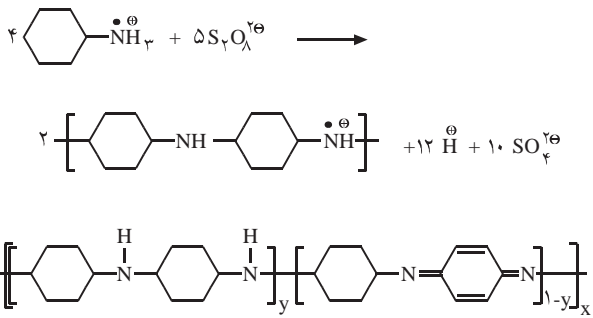
رادیکالهای کاتیون آنیلین در رشد زنجیر پلی آنیلین به شکل پرنیگرانیلین شرکت می‌کنند (طرح ۱ ج)).

اسیدیته محلول در حین واکنش پلیمر شدن بر اثر کاهش پروتونها، افزایش می‌یابد. عامل اکسنده مانند پروکسید آمونیوم سولفات، الکترونها را دریافت کرده، احیا می‌شود.

زمانی که تمامی اکسنده موجود در محلول مصرف می‌شود، پرنیگرانیلین نقش اکسنده را ایفا می‌کند و به کمک آنیلین باقیمانده در محلول احیا شده، به محصول نهایی امرالدین تبدیل می‌شود. این تغییرات باعث تغییر رنگ محلول و سبزرنگ شدن آن می‌شود (طرح ۱ د)).

چنانچه اکسنده بیش از حد مجاز مصرف شود، پرنیگرانیلین به محصولات با وزن مولکولی کم و بی رنگ تجزیه می‌شود و مقدار امرالدین کاهش می‌یابد.

ساختار تعمیم یافته پلی آنیلین در طرح ۲ نشان داده شده است.



طرح ۲ ساختار تعمیم یافته پلی آنیلین [۶].

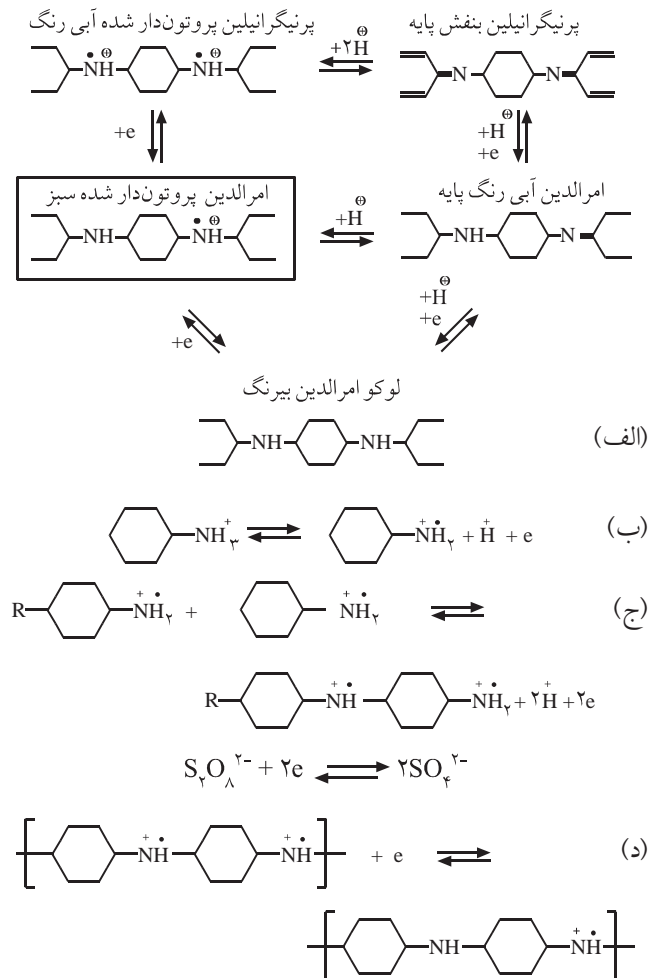
یکی از عمده ترین کاربردهای تجاری پلی آنیلین در تهیه باتریهای قابل پرکردن و خازنهاست. در این باتریها از پلیمر به عنوان الکترود فعال استفاده می‌شود، زیرا این پلیمر سبک، انعطاف پذیر و ظرفیت برگشت پذیر آن از لحاظ پذیرش و دادن بارهای الکتریکی بسیار زیاد است [۷، ۸].

از پلی آنیلین در تهیه غشا برای جداسازی گازهای مخلوط [۹، ۱۰]، تولید لیاف و پارچه رسانا استفاده می‌شود. این لیاف استحکام خوبی دارند و در سازه‌های مختلف از جمله در قطعات پلاستیکی هواپیما و

با عنوان فرایندهای دوپه شدن مطرح می‌شوند [۳]. هدایت چنین پلیمرهایی بستگی به نوع مواد و مقدار دوپه شده دارد، زیرا عمل دوپه کردن نقش اساسی روی هدایت الکتریکی پلیمر دارد [۴، ۵]. پلی آنیلین تنها پلیمر هادی است که خواص الکتریکی آن در حین دوپه کردن قابل کنترل است. دو محدودیت عمده و مهم در پلی آنیلین رسانا وجود دارد که عبارتست از فرایند ناپذیری آن به روشهای متداول و خواص مکانیکی ضعیفش که این محدودیتها می‌توانند با تهیه کامپوزیتها و کوپلیمرهای پلی آنیلین برطرف شوند [۶].

پلی آنیلین به چند شکل با رنگها و رساناییهای متفاوت از 10^{-11} تا 10^1 S/cm می‌تواند تهیه شود. مهمترین حالت پلی آنیلین، امرالدین پروتون دار شده است و پلی آنیلین به راحتی به روش الکتروشیمیایی در محیطهای اسیدی آبی با استفاده از اکسید کننده‌های متداول مانند آمونیوم پروکسی دی سولفات و پتاسیم پدات تهیه می‌شود.

در طرح ۱ حالت‌های مختلف پلی آنیلین و تغییرات داخلی در آن ارائه شده است.



طرح ۱ حالت‌های مختلف پلی آنیلین و تغییرات داخلی آن [۶].

پتاسیم یدات، اتیل استات، اتیل متیل کتون، اتیلن گلیکول مونومتیل اتر و نرمال متیل پیرولیدون (NMP) همگی از نوع آزمایشگاهی و از شرکت مرک تهیه شدند. همچنین، در تمامی آزمایشها از آب مقطر بدون یون استفاده شد.

دستگاهها

در این پژوهش، از ترازوی تجزیه‌ای مدل FR ۲۰۰، همزن مغناطیسی مدل MK ۲۰، سانتریفوژ ساخت کشور انگلیس، گرمخانه، میکروسکوپ الکترون پویشی ژول (SEM) مدل LSM ۵۰A و دستگاه هدایت سنج چهار نقطه‌ای استفاده شده است.

روشها

تهیه پلی آنیلین

برای تهیه شیمیایی پلی آنیلین از پتاسیم یدات (KIO₃) به عنوان اکسنده و برای تهیه محلول اسیدی از سولفوریک اسید ۱ M در محلول آبی و غیره آبی مانند اتیل استات، اتیلن گلیکول مونومتیل اتر و اتیل متیل کتون با نسبت حجم مساوی با آب به طور جداگانه استفاده شده است. در تمامی آزمایشها، ابتدا ۲۰۰ cc محلول اسیدی ۱ M تهیه کرده، سپس ۱/۶ g اکسنده (۰/۳۷ M) به محلول اسیدی افزوده، به وسیله همزن مغناطیسی همزده می شود تا محلول یکنواختی بدست آید. پس از حل شدن کامل اکسنده، ماده افزودنی طبق جدول ۱ به محلول اضافه و همزده می شود تا کاملاً حل شود. سپس ۲ cc مونومر آنیلین خالص (۰/۱۰۷ M) که سه مرتبه تقطیر شده، به محلول تزریق و به مدت ۵ h در دمای محیط به وسیله همزن مغناطیسی همزده می شود. چند دقیقه پس از تزریق

رادار استفاده شده، هنگام برخورد صاعقه به هواپیما بارهای الکتریکی پراکنده می شوند [۷]. همچنین، از پلی آنیلین به عنوان پوشش روی فولاد و سایر فلزات برای محافظت در مقابل خوردگی بکار می رود [۱۱]. پوشش پلی آنیلین روی اجسام از قبیل سیلیکا مورد توجه زیادی است و با عنوان پوششهای ضد بار ساکن استفاده می شود [۱۴-۱۲]. پژوهشهای زیادی برای جذب امواج نورانی به کمک پلی آنیلین و همچنین خواص طیفی آن (electrochromism) در محیط آبی و غیر آبی بررسی شده است [۱۶، ۱۵]. از آنجا که دامنه کاربرد پلی آنیلین گسترده است بنابراین، اصلاح و بهبود خواص این ماده ضروری به نظر می رسد. در این پژوهش، شکل شناسی و هدایت الکتریکی فیلم تهیه شده آنیلین و کامپوزیت آن با استفاده از حلالهای مختلف از قبیل آب، اتیل استات، اتیلن گلیکول مونو متیل اتر، اتیل متیل کتون و مواد افزودنی متفاوت از قبیل پلی وینیل الکل (PVA)، پلی اتیلن گلیکول (PEG) و پلی وینیل استات (PVAc) به روش شیمیایی بررسی شده است.

تجربیه

مواد

در این پژوهش، همه مواد شیمیایی بکاربرده شده به دلیل داشتن خلوص زیاد بدون خالص سازی بیشتر مصرف شدند، به جز مونومر آنیلین که قبل از استفاده تقطیر و در یخچال نگهداری شد.

مونومر آنیلین، پلی وینیل الکل ($\bar{M}_w = 72000$)، پلی وینیل استات ($\bar{M}_w = 25000$)، پلی اتیلن گلیکول ($\bar{M}_w = 35000$)، سولفوریک اسید،

جدول ۱ شرایط واکنش برای تهیه پلی آنیلین و کامپوزیت‌های پلی آنیلین.

نوع محلول	غلظت ماده افزودنی (g/L)	نوع ماده افزودنی	نمونه
آبی	-	-	پلی آنیلین
آبی	۴	پلی وینیل الکل	کامپوزیت پلی آنیلین - پلی وینیل الکل
آبی	۱۰	پلی اتیلن گلیکول	کامپوزیت پلی آنیلین - پلی اتیلن گلیکول
آبی	۲/۲۵	پلی وینیل استات	کامپوزیت پلی آنیلین - پلی وینیل استات
آبی	۴/۵	پلی وینیل استات	کامپوزیت پلی آنیلین - پلی وینیل استات
آب + اتیل استات	۲/۲۵	پلی وینیل استات	کامپوزیت پلی آنیلین - پلی وینیل استات
آب + اتیل استات	۴/۵	پلی وینیل استات	کامپوزیت پلی آنیلین - پلی وینیل استات
آب + اتیلن گلیکول مونومتیل اتر	۲/۲۵	پلی وینیل استات	کامپوزیت پلی آنیلین - پلی وینیل استات
آب + اتیلن گلیکول مونومتیل اتر	۴/۵	پلی وینیل استات	کامپوزیت پلی آنیلین - پلی وینیل استات
آب + اتیل استات	۱۰	پلی اتیلن گلیکول	کامپوزیت پلی آنیلین - پلی اتیلن گلیکول

نتایج و بحث

به نظر می‌رسد که به دلیل آسانی و سادگی کار پلیمر شدن شیمیایی می‌تواند روشی عمومی و مفید برای تهیه پلیمرهای رسانا و کامپوزیت آنها باشد. پلی آنیلین و کامپوزیت‌های آن در حلال‌های مختلف با استفاده از مواد افزودنی مانند پلی اتیلن گلیکول، پلی وینیل الکل و پلی وینیل استات با غلظت‌های مختلف تهیه شده‌اند.

مقدار رسانایی نمونه‌ها در جدول ۲ ارائه شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود کامپوزیت‌های پلی آنیلین به دلیل وجود پلیمر ماتریس نارسانا (پلی اتیلن گلیکول، پلی وینیل الکل و پلی وینیل استات) در ساختارشان رسانایی کمتری نسبت به پلی آنیلین خالص دارند و رسانایی نمونه‌ها در محلول آبی در شرایط یکسان، بیشتر از همان نمونه‌هایی است که در محلول آبی - غیر آبی تهیه شده‌اند. همچنین، اثر غلظت ماده افزودنی روی رسانایی فیلم تهیه شده نشان می‌دهد که با افزایش غلظت ماده افزودنی رسانایی نمونه‌ها کاهش می‌یابد. چنانچه از جدول پیداست رسانایی الکتریکی کامپوزیت به نوع ماده افزودنی و حلال بستگی دارد که احتمالاً به دلیل شکل و اندازه ذرات و همچنین مقدار و نوع ماده افزودنی جذب شده در پلیمر است. از آنجا که پلی آنیلین بار مثبت دارد در نتیجه مواد افزودنی که دارای بار الکتریکی منفی یا خنثی باشند ممکن است روی جذب اثر بگذارند [۱۷]. بازده پلیمر شدن در محلول آبی/غیر آبی اتیل متیل کتون به دلیل تشکیل ذرات ریز و عدم امکان جداسازی با سانتریفوژ بکار برده شده بسیار کم بود. ضخامت فیلم‌های تهیه شده به طور متوسط در حدود $250 \mu\text{m}$ در نظر گرفته شده است.

مونومر، محلول تغییر رنگ داده، سبز رنگ می‌شود و با گذشت زمان رنگ محلول تیره‌تر می‌شود که این تغییر رنگ نشانه تشکیل پلیمر و پیشرفت واکنش است. پس از گذشت ۵ h از واکنش پلیمر شدن، پلیمر تشکیل شده به وسیله سانتریفوژ از محلول جدا شده، برای از بین بردن الیگومرها و ناخالصی‌های موجود در پلیمر مجدداً آن را در سولفوریک اسید ۱ M حل کرده، به کمک سانتریفوژ پلیمر از محلول جدا می‌شود.

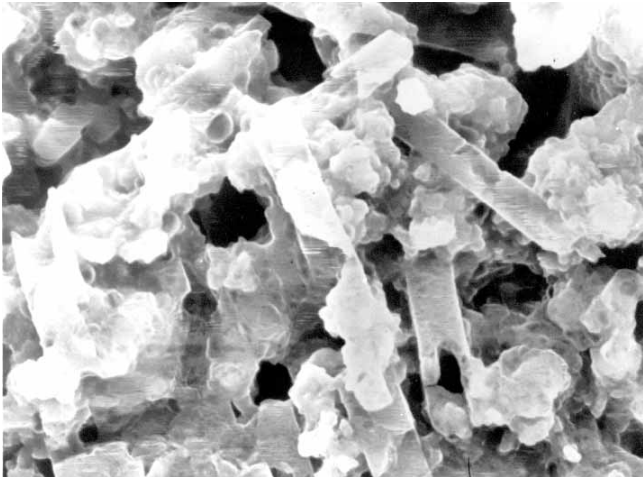
تهیه فیلم

برای تهیه فیلم از حلال NMP استفاده شده است. ۱ g پلیمر تهیه شده را در ۱۰۰ cc حلال NMP حل کرده، سپس، به وسیله همزن مغناطیسی کاملاً همزده می‌شود تا محلول یکنواخت و همگنی بدست آید. سپس برای تهیه فیلم پلی آنیلین مقداری از محلول NMP دارای پلی آنیلین تهیه شده را روی قطعه شیشه‌ای صاف و تمیز به مساحت 20 cm^2 ریخته، به مدت ۴ h در گرمخانه با دمای حدود 70°C گذاشته تا کاملاً فیلم خشک شود. بعد از خشک شدن کامل فیلم، شیشه در آب به مدت ۵ min غوطه‌ور شده، فیلم به آسانی از روی شیشه جدا می‌شود. فیلم بدست آمده با آب مقطر شستشو داده می‌شود تا NMP موجود در فیلم از بین برود.

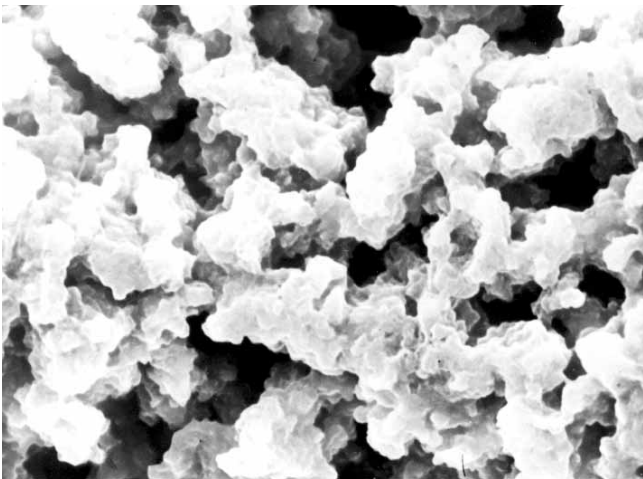
سپس، فیلم را در بین دو کاغذ قرار داده، روی آن قطعه شیشه‌ای گذاشته می‌شود تا فیلم در حین خشک شدن صاف بماند و جمع نشود. فیلم برای خشک شدن حدود یک روز در دمای محیط نگهداری می‌شود. رسانایی نمونه‌های تهیه شده به روش چهار نقطه‌ای اندازه‌گیری شده است.

جدول ۲ رسانش پلی آنیلین و کامپوزیت‌های پلی آنیلین.

نمونه	نوع ماده افزودنی (پلیمر ماتریس)	غلظت ماده افزودنی (g/L)	نوع محلول	هدایت فیلم تهیه شده (S/cm)
پلی آنیلین	-	-	آبی	۰/۲
کامپوزیت پلی آنیلین - پلی وینیل الکل	پلی وینیل الکل	۴	آبی	۰/۰۴
کامپوزیت پلی آنیلین - پلی اتیلن گلیکول	پلی اتیلن گلیکول	۱۰	آبی	۰/۱۵
کامپوزیت پلی آنیلین - پلی وینیل استات	پلی وینیل استات	۲/۲۵	آبی	۰/۰۳۰۷
کامپوزیت پلی آنیلین - پلی وینیل استات	پلی وینیل استات	۴/۵	آبی	۰/۰۱۲
کامپوزیت پلی آنیلین - پلی وینیل استات	پلی وینیل استات	۲/۲۵	آب + اتیل استات	۰/۰۲
کامپوزیت پلی آنیلین - پلی وینیل استات	پلی وینیل استات	۴/۵	آب + اتیل استات	۰/۰۱۱
کامپوزیت پلی آنیلین - پلی وینیل استات	پلی وینیل استات	۲/۲۵	آب + اتیلن گلیکول مونومتیل اتر	$6/7 \times 10^{-3}$
کامپوزیت پلی آنیلین - پلی وینیل استات	پلی وینیل استات	۴/۵	آب + اتیلن گلیکول مونومتیل اتر	$3/1 \times 10^{-3}$
کامپوزیت پلی آنیلین - پلی اتیلن گلیکول	پلی اتیلن گلیکول	۱۰	آب + اتیل استات	۰/۰۸



شکل ۲ تصویر میکروسکوپی پلی آنیلین تهیه شده در مجاورت ماده افزودنی PEG با غلظت ۱۰ g/L با بزرگنمایی ۴۰۰۰ برابر.



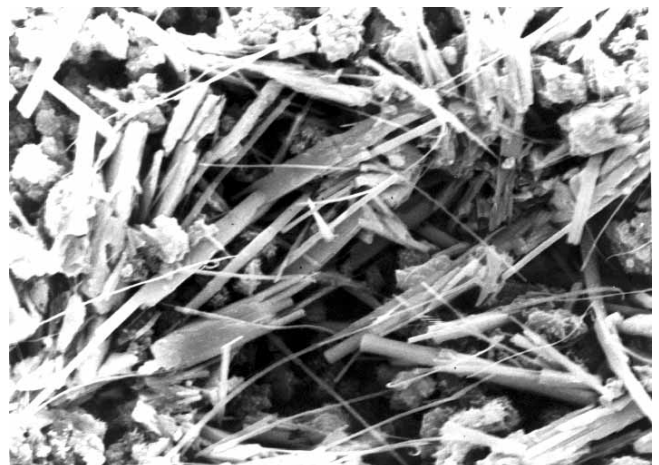
شکل ۳ تصویر میکروسکوپی پلی آنیلین تهیه شده در مجاورت ماده افزودنی PVA با غلظت ۴ g/L با بزرگنمایی ۴۰۰۰ برابر.



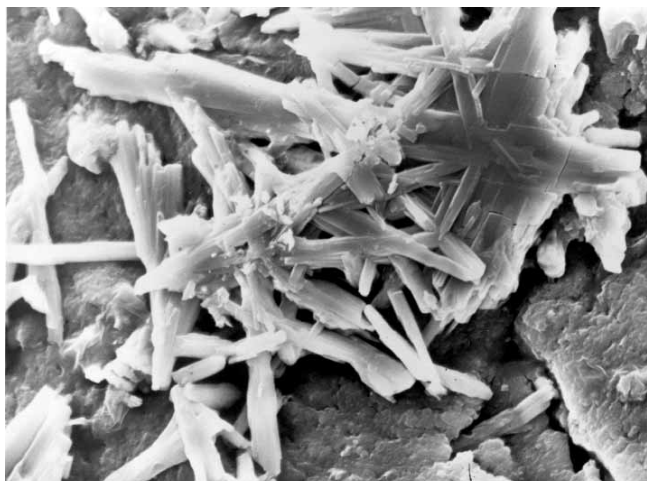
شکل ۴ تصویر میکروسکوپی پلی آنیلین تهیه شده در مجاورت ماده افزودنی PVAc با غلظت ۲/۲۵ g/L با بزرگنمایی ۴۰۰۰ برابر.

شکل شناسی پلی آنیلین تهیه شده در حلال‌های مختلف و در مجاورت مواد افزودنی و بدون آن با استفاده از میکروسکوپ الکترون پویشی مورد مطالعه قرار گرفته که نتایج حاصل در شکل‌های ۱-۷ نشان داده شده است. لازم به ذکر است که در تمام تصاویر غلظت‌های آنیلین، پتاسیم یدات و سولفوریک اسید به ترتیب ۰/۱۰۷، ۰/۰۳۷ و ۱ M است. مطابق شکل ۱ پلی آنیلین تهیه شده بدون مواد افزودنی به شکل ذرات سوزنی و تقریباً یکنواخت است. در شکل ۲ تصویر میکروسکوپی کامپوزیت پلی آنیلین با استفاده از پلی اتیلن گلیکول نشان داده شده است. در این حالت ذرات به شکل سوزنی غیر یکنواخت با ضخامت بیشتر هستند که ناشی از تشکیل پوششی از مواد افزودنی روی ذرات پلیمر است.

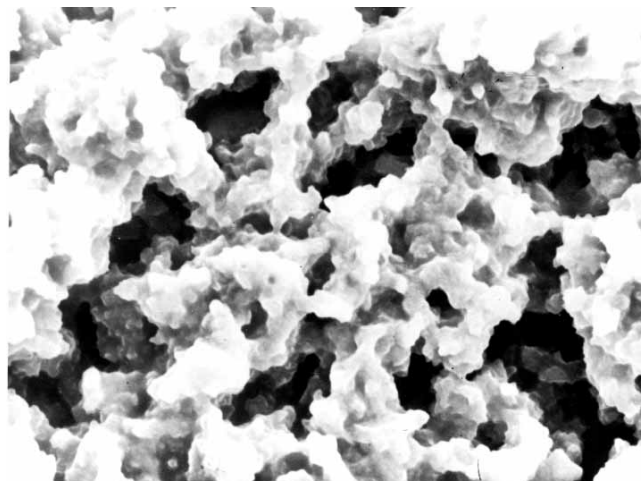
شکل ۳ تصویر میکروسکوپی کامپوزیت پلی آنیلین و پلی وینیل الکل را نشان می‌دهد که از ذرات توده مانند تشکیل شده است و این ذرات از یکنواختی نسبتاً خوبی برخوردارند. شکل ۴ تصویر میکروسکوپی کامپوزیت پلی آنیلین با پلی وینیل استات را نشان می‌دهد. چنانچه در تصویر مشاهده می‌شود ذرات به شکل الیاف تقریباً همگن تشکیل شده‌اند که نقش مواد افزودنی را در تشکیل پلیمر و شکل شناسی آن نشان می‌دهند. شکل ۵ نیز تصویر میکروسکوپی کامپوزیت پلی آنیلین و پلی وینیل استات است که ذرات به شکل توده‌اند. مقایسه تصاویر ۴ و ۵ اثر غلظت مواد افزودنی روی شکل شناسی پلیمر را نشان می‌دهد. شکل‌های ۶ و ۷ تصاویر میکروسکوپی کامپوزیت پلی آنیلین و پلی وینیل استات را در محلول آب و اتیلن گلیکول مونو متیل اتر نشان می‌دهند. چنانچه از تصاویر پیداست ذرات به شکل سوزنی و از یکنواختی خوبی برخوردارند که این ویژگی در شکل ۷ بارزتر است که پلی آنیلین [۱۸] باشد و نیز احتمالاً غلظت ماده افزودنی روی تشکیل



شکل ۱ تصویر میکروسکوپی پلی آنیلین تهیه شده به روش شیمیایی در محلول آبی بدون مواد افزودنی با بزرگنمایی ۴۰۰۰ برابر.



شکل ۷ تصویر میکروسکوپی پلی آنیلین تهیه شده به روش شیمیایی در محلول آب و اتیلن گلیکول مونو متیل‌تر در مجاورت ماده افزودنی PVAc با غلظت ۴/۵ g/L با بزرگنمایی ۲۵۰۰ برابر.



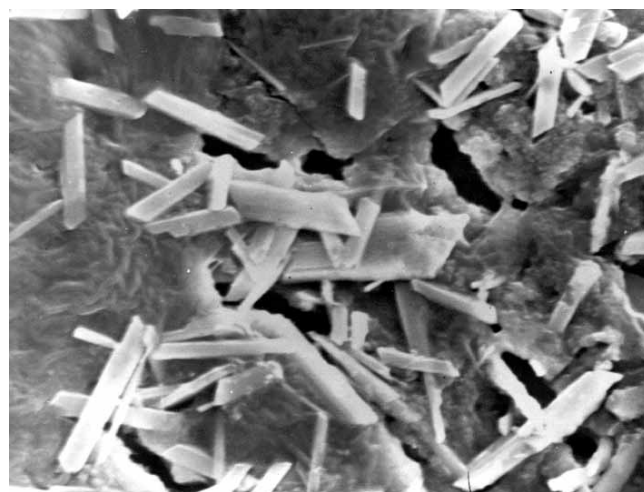
شکل ۵ تصویر میکروسکوپی پلی آنیلین تهیه شده در مجاورت ماده افزودنی PVAc با غلظت ۴/۵ g/L با بزرگنمایی ۴۰۰۰ برابر.

نتیجه‌گیری

پلی آنیلین و کامپوزیت آن را می‌توان در دمای محیط و در شرایط معین و مشخص به روش شیمیایی تهیه کرد. در این پژوهش، پلی آنیلین و کامپوزیت آن به روش شیمیایی در حلال‌های مختلف و با استفاده از مواد افزودنی PVA، PEG، و PVAc در مجاورت پتاسیم یدات به عنوان اکسنده برای بررسی خواص شکل‌شناسی و رسانایی الکتریکی مطالعه شده است.

همان‌طور که از تصاویر میکروسکوپی پیداست نوع حلال، ماده افزودنی و غلظت آن اثر زیادی روی رسانایی فیلم تهیه شده، شکل‌شناسی پلیمر و اندازه ذرات تشکیل دهنده پلیمر دارند که احتمالاً به دلیل جذب سطحی مواد افزودنی یا پیوند شیمیایی است که بین مواد افزودنی و پلیمر برقرار می‌شود. از آنجا که مواد افزودنی بر خواص فیزیکی و شیمیایی محلول و در نتیجه سرعت رشد و تشکیل کامپوزیت مؤثرند، روی شکل و اندازه ذرات نیز اثر می‌گذارند. این مطلب در تصاویر میکروسکوپی مشخص است. رسانایی الکتریکی کامپوزیت پلی آنیلین به نوع حلال، ماده افزودنی و احتمالاً به مقدار، نوع مواد افزودنی جذب شده در پلیمر و همچنین اندازه و شکل ذرات کامپوزیت بستگی دارد. با افزایش غلظت ماده افزودنی، رسانایی پلیمر کاهش یافته، اندازه ذرات تشکیل دهنده پلیمر کمتر شده و یکنواختی آن بیشتر می‌شود. بهترین رسانایی الکتریکی زمانی حاصل می‌شود که از محلول آبی و محلول آبی/غیرآبی اتیل استات به طور جداگانه استفاده شود.

پلیمر تأثیر می‌گذارد. چنانچه از شکلها پیداست، ذرات تشکیل دهنده پلیمر بسته به نوع حلال، ماده افزودنی و غلظت آن به شکل سوزنی، الیاف و دانه‌ای بوده، نوع حلال، ماده افزودنی و غلظت آن اثر مهمی روی شکل‌شناسی پلیمر دارند. همچنین، غلظت ماده افزودنی و نوع حلال بکار برده شده اثر زیادی روی یکنواختی فیلم تهیه شده دارند. هر چه غلظت ماده افزودنی بیشتر باشد اندازه ذرات کمتر و یکنواختی بیشتر می‌شود. همچنین، در نمونه‌هایی که در محلول‌های آبی/غیرآبی تهیه شده‌اند، ذرات تشکیل دهنده پلیمر یکنواخت‌تر است.



شکل ۶ تصویر میکروسکوپی پلی آنیلین تهیه شده به روش شیمیایی در محلول آب و اتیلن گلیکول مونو متیل‌تر در مجاورت ماده افزودنی PVAc با غلظت ۲/۲۵ g/L با بزرگنمایی ۲۵۰۰ برابر.

مراجع

1. Letheby H., On the Production of a Blue Substance by the Electrolysis of Sulphate of Aniline, *J. Chem. Soc.*, **15**, 161-163, 1862.
2. Mohilner D.M., Adams R.N. and Argersinger W.J., Investigation of the Kinetics and Mechanism of the Anodic Oxidation of Aniline in Aqueous Sulfuric Acid Solution at a Platinum Electrode, *Am. Chem. Soc. J.*, **84**, 3618-3622, 1962.
3. Diaz A.F., Castillo J.I., Logan J.A. and Wen-Yaung L., Electrochemistry of Conducting Polypyrrole Films, *J. Electroanal. Chem.*, **129**, 115-132, 1981.
4. Shirakwa H., Louis E.J., Mac Diarmid A.G., Synthesis of Electrically Conducting Organic Polymers: Halogen Derivatives of Polyacetylene (CH)_n, *J. Chem. Soc. Chem. Comm.*, **16**, 578-580, 1977.
5. Chiang C.K., Fincher C.R. and Mac Diarmid A.G., Electrical Conductivity in Doped Polyacetylene, *Phys. Rev. Lett.*, **39**, 1098-1101, 1977.
6. Stejskal J., Kratochvil P. and Jenkins A.D., The Formation of Polyaniline and the Nature of its Structures, *Polymer*, **37**, 367-369, 1996.
7. Kaner R.B., MacDiarmid A.G., Plastics that Conduct Electricity, *Sci. Am.*, **258**, 106-111, 1988
8. MacDiarmid A.G., Yang L.S., Huang W.S. and Humphrey B.D., Polyaniline: Electrochemistry and Application to Rechargeable Batteries, *Synth. Met.*, **18**, 393-398, 1987.
9. Anderson M.R., Mattes B.R., Reiss H. and Kaner R.B., Conjugated Polymer Films for Gas Separations, *Science*, **252**, 1412-1414, 1991.
10. Kuwabata S. and Martin C.R., Investigation of the Gas-transport Properties of Polyaniline, *J. Membrane Sci.*, **91**, 1-12, 1994.
11. Wessling B., Passivation of Metals by Coating with Polyaniline: Corrosion Potential Shift and Morphological Changes, *Adv. Mater.*, **6**, 226-228, 1994.
12. Armes S.P., Gottesfeld S., Beery J.G., Garzon F. and Agnew S.F., Conducting Polymer-Colloidal Silica Composites, *Polymer*, **32**, 2325-2330, 1991.
13. Ohtani A., Abe M., Ezoe M., Doi T., Miyata T. and Miyake A., Synthesis and Properties of High-molecular-weight Soluble Polyaniline and its Application to the 4MB-capacity Barium Ferrite Floppy Disks Antistatic Coating, *Synth. Met.*, **57**, 3696-3701, 1993.
14. Schoch K.F., Byers W.A. and Buckley L.J., Deposition and Characterization of Conducting Polymer Thin Films on Insulating Substrates, *Synth. Met.*, **72**, 13-23, 1995.
15. Rodrigues M.A., De Paoli M. and Mastragostino M., Electrochromic Properties of Chemically Prepared Polyaniline, *Electrochim. Acta*, **36**, 2143-2146, 1991.
16. Bernard M.C., Cordova-Torresi S. and Hugot-Le Goff A., Electrochromic Phenomena in Polyaniline Films: Effect of pH and Influence of the Sweep Range on Cycling Lifetimes Studied by In-situ Raman Spectroscopy, *Sol. En. Mater. Sol. Cel.*, **25**, 225-240, 1992.
17. Aldissi M., Is there a Colloid in Every Solution Processable Conducting Polymer, *Adv. Mater.*, **5**, 60-62, 1993.
18. Aldissi M. and Armes S.P., Colloidal Dispersions of Conducting Polymers, *Prog. Org. Coat.*, **19**, 21-58, 1991.