

بررسی پدیده هدایت الکتریکی در کامپوزیت‌های اپوکسی/دوده

مهدی سلامی کلجاهیⁱ، وحید حدادی اصلⁱⁱ، مهدی مقری بیدگلیⁱⁱⁱ

چکیده

دوده هادی باعث افزایش قابل ملاحظه هدایت الکتریکی آمیزه‌های پلیمری می‌شود. نتایج این مقاله نشان می‌دهد که روند افزایش هدایت الکتریکی آمیزه‌های پلیمری با افزایش درصد دوده غیرخطی است. وقتی دوده مصرفی کم باشد، هدایت الکتریکی تفاوت چندانی با هدایت الکتریکی پلیمر خالص اولیه ندارد، یعنی فقط وقتی درصد دوده از مقدار حدی (آستانه تجمع) بالاتر باشد، دوده تأثیر قابل ملاحظه‌ای بر روی بهبود و افزایش هدایت الکتریکی پلیمر دارد. همچنین نتایج نشان می‌دهند که استفاده از دوده با ساختار بالاتر و نیز مواد یونی باعث می‌شوند که آستانه هدایت در درصد‌های کمتری از دوده مشاهده شود. افزایش دمای فرآیندی و متعاقب آن کاهش ویسکوزیته آمیزه نیز به دلیل تشکیل آسان‌تر شبکه‌های هادی باعث کاهش مقدار آستانه تجمع می‌شود. همچنین نتایج نشان می‌دهند که تأثیر افزایش دمای محیط آزمایش بر روی میزان هدایت الکتریکی به دمای شیشه‌ای شدن پلیمر بستگی دارد. با افزایش دمای آزمون، هدایت الکتریکی کاهش و در نزدیکی دمای شیشه‌ای شدن، هدایت الکتریکی افزایش می‌یابد.

واژه‌های کلیدی

هدایت الکتریکی، دوده، کامپوزیت‌های پلیمری

Study of Electrical Conduction in Epoxy/Carbon Black Composites

Mehdi Salami-Kalajahi; Vahid Haddadi-Asl^{*}; Mehdi Moghri-Bidgoli

ABSTRACT

Application of conductive carbon black in polymer blends remarkably increases electric conductivity of polymers. According to the results presented in this paper, electric conductivity of polymer blends containing carbon black is increased in a non-linear way as the extent of carbon black increases. Also, there is an optimal amount of carbon black beyond which a significant change is observed in electric property of polymer blends, i.e. carbon black contents smaller than this critical value (agglomeration threshold) can not affect the electric property of polymer blends. In addition, carbon black with higher structures reduces the agglomeration threshold as well as addition of ionic materials. Moreover, increasing temperature, and consequently reduction of the blend viscosity, reduce the agglomeration threshold, as it facilitates the formation of conductive networks. Finally, effect of the test temperature on the blend conductivity depends on the glass transition of the blend. Instead, increasing test temperature, reduces electric conductivity at first, but in the vicinity of glass transition temperature of polymer blend causes the electric conductivity to increase.

KEYWORDS

Electric Conductivity, Carbon Black, Polymeric Composites

ⁱ دانشجوی کارشناسی ارشد دانشکده مهندسی پلیمر، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، کد پستی ۱۵۸۷۵-۴۴۱۳، تهران، ایران

ⁱⁱ دانشیار دانشکده مهندسی پلیمر، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، کد پستی ۱۵۸۷۵-۴۴۱۳، تهران، ایران؛ مسئول مکاتبات: haddadi@aut.ac.ir

ⁱⁱⁱ دانشجوی دکتری دانشکده مهندسی پلیمر، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، کد پستی ۱۵۸۷۵-۴۴۱۳، تهران، ایران

یکی از ویژگی‌های مهم پلیمرها، نارسایی الکتریکی یا عایق بودن آنهاست. این ویژگی که مواد پلیمری، الکترون‌ها یا حامل‌های جریان الکتریسیته را از خود عبور نمی‌دهند، سبب به وجود آمدن مواد نارسانای ایده‌آل شده است، هر چند که نارسانایی پلیمرها همیشه به عنوان یک مزیت به شمار نمی‌رود. در برخی کاربردها در صورتی که پلیمرها رسانای جریان برق باشند، انتخابی بی‌رقیب خواهند بود. به همین دلیل تلاش‌های زیادی برای هادی کردن پلیمرها انجام شده است. پلیمرهای هادی ویژگی‌های عمومی مواد پلیمری از نظر سبکی، انعطاف‌پذیری، سهولت فرآیند، مقاومت شیمیایی و قیمت ارزان را در عین رسانا بودن دارند [۱-۲].

هادی کردن پلیمرها به سه روش انجام می‌شود:

الف) در نظر گرفتن زنجیر اصلی نیمه‌هادی برای پلیمر و ایجاد زنجیر اصلی پلیمر با الکترون‌های آزاد که بارها را شبیه به فلزات انتقال دهند. مزیت عمده مواد تهیه شده از این روش تغییر هدایت الکتریکی نمونه با کنترل میزان اکسیداسیون و احیاست. فرآیندپذیری ضعیف، خواص مکانیکی ضعیف و ناپایداری هدایت الکتریکی معایب اصلی این روش هستند.

ب) قرار دادن پوشش هادی الکتریسیته بر روی سطح پلیمر. آسانی پوشش‌دهی و هزینه پایین عملیات مهم‌ترین مزیت‌های این روش می‌باشند. در عین حال ناپایداری روکش‌ها از نظر شیمیایی و مکانیکی استفاده از آن را محدود کرده است.

ج) اضافه کردن ماده هادی الکتریسیته به آمیزه پلیمری. هزینه پایین، وزن سبک، پایداری مکانیکی، آسانی فرآیندپذیری و هدایت الکتریکی و حرارتی خوب سبب شده است که بیشتر از این روش استفاده شود [۱].

از میان انواع مواد هادی مصرف‌شده در پلیمرها، دوده یکی از مرسوم‌ترین و مؤثرترین مواد است. به علت وجود ساختمان بلوری، این ماده در مقایسه با رزینی که در آن پخش شده است، در مقابل عبور جریان الکتریسیته مقاومت کمتری از خود نشان می‌دهد. معمولاً با افزایش درصد دوده، هدایت الکتریکی آمیزه پلیمری به صورت غیرخطی افزایش می‌یابد. با درصدهای کم دوده هدایت الکتریکی پلیمر چندان تغییر نمی‌کند؛ به عبارت دیگر فقط وقتی میزان دوده مصرفی از یک مقدار حدی بالاتر باشد، دوده بر ازدیاد هدایت الکتریکی پلیمر تأثیرگذار است. درصدی از دوده را که در آن هدایت الکتریکی به میزان قابل ملاحظه‌ای افزایش می‌یابد "آستانه تجمع" می‌نامند. در این درصد اجزای دوده به نحوی با یکدیگر تماس پیدا می‌کنند که یک شبکه هادی پیوسته ایجاد می‌شود و هدایت

الکتریکی به میزان قابل ملاحظه‌ای افزایش می‌یابد [۱-۳].

تحقیقات بسیاری در مورد پلاستیک‌ها و پلیمرهای هادی انجام شده است. ایشتاین هدایت الکتریکی پلیمرهای ناتاً هادی و پلیمرهایی را که در آنها پیوند دوگانه به صورت یک در میان قرار دارد، بررسی کرده است [۴]. ویکی و همکارانش فرآیندپذیری پلی‌آنیلین هادی را مورد بررسی قرار داده‌اند [۵]. همچنین اخیراً کامپوزیت‌های پلیمری هادی با آستانه تجمع پایین مورد توجه بسیاری قرار گرفته‌اند [۶-۱۰]. فنگ و چن خواص الکتریکی و مورفولوژی آلیاژ امتزاج‌ناپذیر پلی‌وینیل‌فلوراید و پلی‌اتیلن با دانسیته بالا مخلوط شده با دوده را بررسی کرده‌اند [۱۱]. نارکیس و همکاران نیز ارتباط بین مورفولوژی و هدایت الکتریکی آمیزه‌های پلیمری امتزاج‌ناپذیر را مطالعه کرده‌اند [۸]. نیکسون خواص رئولوژیکی کامپوزیت‌های هادی الکتریسیته را بررسی کرده است [۱۲]. وبر و کمال نیز ضمن ارائه دو مدل ریاضی جدید، مقاومت حجمی کامپوزیت‌های لیفی را تخمین زده‌اند [۱۳]. لی و کیم نیز تأثیر عملیات حرارتی را بر روی هدایت الکتریکی فیلم پلی‌پیرول تهیه شده از روش محلولی مطالعه کرده‌اند [۱۴]. دانسکو و زابرانن تأثیر فرآیند اختلاط را در تشکیل پلیمرهای هادی بررسی کرده‌اند [۱۵-۱۶]. حدادی اصل و محمدی نیز اثر روش و شرایط فرآیند را بر روی خواص کامپوزیت‌های پلی‌الفین-دوده مورد بررسی قرار داده‌اند [۱۷]. همچنین حدادی اصل مورفولوژی و خواص کامپوزیت‌های هادی پلی‌الفین-دوده را بررسی کرده است [۱۸].

کلیه این تحقیقات بیانگر این نکته است که مقاومت الکتریکی ویژه کامپوزیت‌های پلیمر-دوده شدیداً به نوع و میزان دوده مصرفی، چگونگی پراکنده شدن دوده در ماتریس پلیمری و ساختار دوده مصرفی بستگی دارد. بنابراین در این تحقیق سعی شده است تأثیر عوامل مختلف فرآیندی و نوع دوده و رزین مورد استفاده در تهیه کامپوزیت‌های پلیمر-دوده بررسی شود.

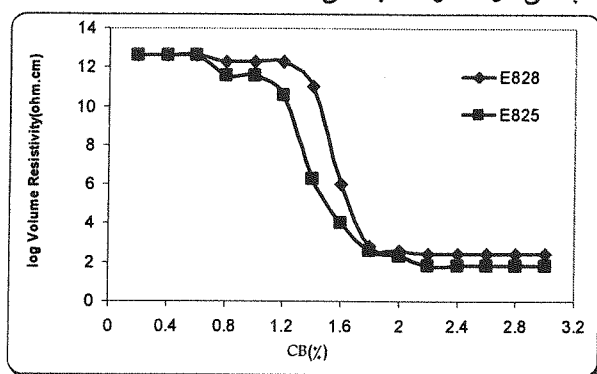
۲- آزمایش‌ها

۲-۱- مواد مورد استفاده

در این تحقیق از دو نوع رزین اپوکسی از نوع بیس‌فنل A، هاردنر از نوع انیدریدی، شتاب‌دهنده حاوی گروه ایمیدازول و چند نوع دوده هادی استفاده شده است. کد رزین‌های مصرفی E825 و E828 بوده است و WPE (وزن رزین حاوی یک اکی والان گرم از گروه‌های اپوکسیدی) این دو رزین به ترتیب ۱۷۵ و ۱۸۶ گرم بر اکی والان می‌باشند. نام‌های تجاری دوده‌های

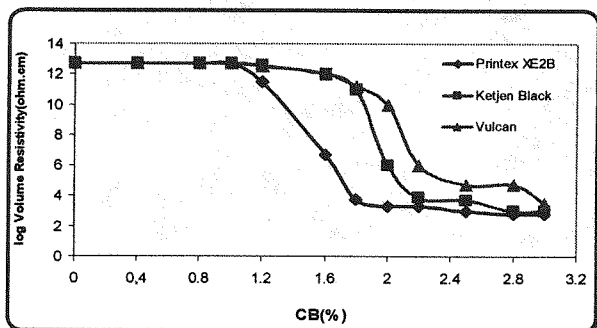
پلیمری به سختی انجام شده و برای همین آستانه هدایت به درصد‌های حجمی بالاتر منتقل می‌شود. همچنین از آنجا که ویسکوزیته رزین E825 در مقایسه با رزین E828 کمتر است، حرکت ذرات دوده در درون ماتریس پلیمری و متعاقب آن تشکیل خوشه آسانتر می‌شود و در نتیجه آستانه هدایت به درصد‌های حجمی پایینتر انتقال می‌یابد.

همچنین با افزایش میزان دوده در هر رزین، میزان مقاومت الکتریکی تا آستانه تجمع تفاوت چندانی نمی‌کند؛ اما در آستانه تجمع افت قابل توجهی می‌کند و در درصد‌های بالاتر دوده به دلیل تشکیل مجدد ساختار دوده در اثر افزایش میزان دوده و چسبندگی ذرات دوده ثابت می‌ماند.



شکل (۱): تأثیر نوع رزین و درصد حجمی دوده بر روی میزان مقاومت الکتریکی

تأثیر درصد حجمی دوده بر روی میزان مقاومت الکتریکی آمیزه‌های تهیه شده از رزین E828 و انواع مختلف دوده در شکل (۲) نشان داده شده است. با افزایش سطح تماس و افزایش ساختار دوده، مقاومت الکتریکی کامپوزیت کاهش می‌یابد. در اثر حرکت براونی و به هم چسبیدن ذرات دوده و متعاقب آن تشکیل خوشه، مسیری برای هدایت الکتریکی تشکیل می‌شود. با افزایش ساختار دوده تشکیل این خوشه‌ها آسانتر و در نتیجه آن آستانه هدایت به درصد‌های حجمی پایینتر منتقل می‌شود. در این مورد دوده Printex XE2B نتایج بهتری را در مقایسه با سایر دوده‌ها نشان می‌دهد.



شکل (۲): تأثیر نوع دوده و درصد حجمی آن بر روی مقاومت الکتریکی

مورد استفاده Printex XE2B، Ketjen Black و Vulcan XE72 است که سطح تماس آنها به ترتیب ۱۴۸۰،۹۵۰ و ۲۵۷ متر مربع بر گرم می‌باشند. اندازه ذرات دوده‌های مصرفی به ترتیب ۵ و ۳۰ نانومتر و میزان جذب روغن در این سه نوع دوده به ترتیب برابر ۲۵۰،۳۳۰ و ۲۶۵ میلی لیتر بر ۱۰۰ گرم بوده است.

۲-۲- تجهیزات مورد استفاده

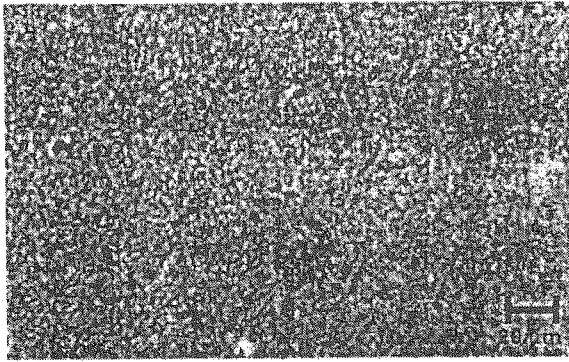
برای تهیه آمیزه از همزن آزمایشگاهی با دور متغیر حداکثر ۵۰۰۰ دور بر دقیقه و برای اندازه‌گیری میزان هدایت الکتریکی نمونه‌ها از دستگاه اندازه‌گیری هدایت الکتریکی در محدوده یک پیکوآمپر تا صد میکروآمپر استفاده شده است.

۳-۲- تولید نمونه‌هایی با فرمولاسیون متغیر

به منظور بررسی تأثیر میزان و نوع مواد افزودنی بر روی میزان هدایت الکتریکی، نمونه‌هایی با فرمولاسیون‌های مختلف تهیه شد. در یک سری از نمونه‌ها از رزین با کد E825 و در سری دیگر از رزین با کد E828 استفاده شد. به منظور انجام فرآیند پخت، در تمامی نمونه‌ها از ۱ phr شتاب‌دهنده استفاده شد. در ابتدا مواد به مدت ۲۴ ساعت در داخل آون قرار داده شدند. سپس انواع مختلف دوده در درصد‌های حجمی ۰/۵، ۰/۲، ۱/۰، ۲/۱۰، ۲/۲، ۲/۵، ۲/۷ و ۳/۰ در همزنی با سرعت ۳۰۰۰ دور در دقیقه و به مدت یک ساعت با رزین اپوکسی مخلوط شدند. پس از یک ساعت شتاب‌دهنده و هاردنر به مخلوط اضافه و سپس در سرعت قبلی عملیات اختلاط به مدت ۱۵ دقیقه ادامه داده شد. در آمیزه‌های حاوی رزین E825 از ۸۰ phr هاردنر استفاده شد. در آمیزه‌های با رزین E828 از ۸۰ phr هاردنر استفاده شد. عملیات پخت مواد در درون قالب در دمای ۸۰ درجه سانتیگراد و به مدت سه ساعت و همچنین عملیات پخت تکمیلی نیز در دمای ۱۴۰ درجه سانتیگراد و در داخل آون مجهز به خلأ و به مدت ۸ ساعت به انجام رسید.

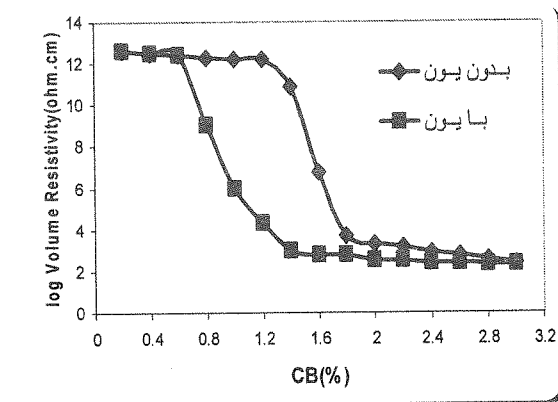
۳-۳- بحث و بررسی نتایج

شکل (۱) تأثیر نوع رزین و درصد حجمی دوده را بر روی میزان مقاومت الکتریکی کامپوزیت نشان می‌دهد. همانطور که در شکل مشاهده می‌شود با افزایش WPE رزین، آستانه هدایت به درصد‌های حجمی بالاتر منتقل می‌شود که دلیل آن افزایش قطبیت رزین است. با افزایش WPE قطبیت رزین افزایش یافته و متعاقب آن یک تنش اضافی در فصل مشترک رزین و دوده ایجاد می‌شود. به عبارت دیگر تنش سطحی بالای پلیمر یک انرژی اضافی در سطح مشترک ایجاد می‌کند. با افزایش چسبندگی رزین و دوده، حرکت ذرات دوده در درون ماتریس



الف) با اعمال نیروی برشی آرام
شکل (۴): تصاویر میکروسکوپ نوری

شکل (۵) تأثیر نمک CuCl_2 را بر روی میزان مقاومت الکتریکی نشان می‌دهد. در این کار تحقیقاتی پس از اختلاط رزین E828 و دوده PRINTEX XE2B، محلول CuCl_2 به رزین اضافه و سپس فرآیند پخت در دمای 80°C به مدت ۳ ساعت انجام یافت. مشاهده می‌شود افزودن نمک CuCl_2 مشابه همزدن آرام پیش از فرآیند پخت باعث کاهش آستانه هدایت می‌گردد که دلیل این امر نیز مشابه دلیل همزدن آرام پیش از پخت است.



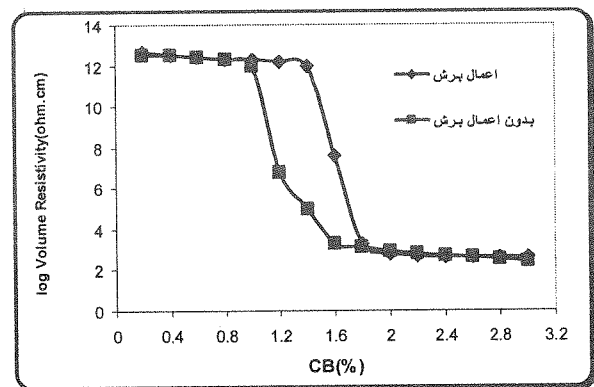
شکل (۵): تأثیر افزودن یون بر روی میزان مقاومت الکتریکی

در تشکیل شبکه هادی که از به هم پیوستن ذرات دوده و تشکیل خوشه ناشی می‌شود، دو نیروی واندروالسی و الکترواستاتیکی در رقابت با هم می‌هستند. با استفاده از نیروی برشی ملایم و اضافه کردن یون می‌توان بر این نیروی دافعه غلبه کرد. افزودن یون سبب خنثی شدن نیروهای مقاوم، کاهش آستانه هدایت و تسهیل تشکیل خوشه می‌شود. شکل (۶) تصاویر میکروسکوپی تهیه شده با استفاده از تکنیک میکروسکوپی نوری این دو نمونه را نشان می‌دهد.

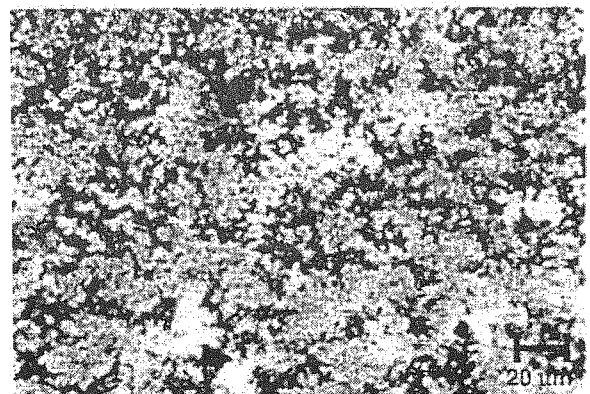
شکل (۷) تأثیر دمای آزمون را بر روی میزان مقاومت الکتریکی کامپوزیت حاوی رزین E828 که با دو درصد حجمی دوده نوع PRINTEX XE2B مخلوط شده است، نشان می‌دهد. با افزایش دما از 80°C تا حدود 135°C مقاومت حجمی نمونه

شکل (۳) تأثیر اعمال برش را بر روی میزان مقاومت الکتریکی نمونه‌های مختلف نشان می‌دهد. در نمونه شماره ۱، پس از اختلاط دوده و رزین، هیچ گونه برش اضافی به نمونه اعمال نشده است، حال آنکه در نمونه شماره ۲ پس از افزودن هاردنر و شتاب‌دهنده به آمیزه دوده و رزین، بار دیگر عملیات اختلاط در همزن با سرعت ۴۵ دور در دقیقه و به مدت ۵ دقیقه ادامه یافت. شکل (۴) تصاویر میکروسکوپی تهیه شده با استفاده از تکنیک میکروسکوپی نوری این دو نوع نمونه را نشان می‌دهد.

هنگام توزیع ذرات در درون ماتریس پلیمری دو نیروی عمده در رقابت با یکدیگر می‌باشند. نیروی واندروالسی سبب به هم پیوستن ذرات و نیروهای کولنی ناشی از القای بارهای الکتریکی بر روی سطوح ذرات باعث دور شدن ذرات از یکدیگر می‌شوند. وقتی مواد قبل از عملیات پخت به هم زده می‌شوند، بارهای ایجاد شده بر روی سطح ذرات خنثی شده و در نتیجه تأثیر نیروهای دافعه کولنی بسیار کاهش می‌یابد. در نتیجه تشکیل خوشه آسانتر شده و آستانه هدایت به درصدهای حجمی پایینتر منتقل می‌شود.



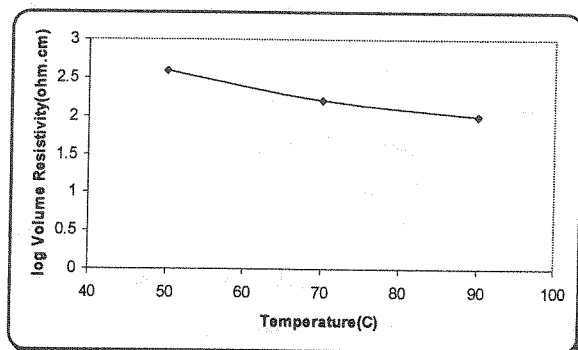
شکل (۳): تأثیر اعمال برش بر روی میزان مقاومت الکتریکی



ب) بدون اعمال نیروی برشی آرام

افزایش و پس از آن کاهش می‌یابد. به دلیل انبساط حرارتی رزین با دما، مسیرهای هدایت الکتریسیته شکسته و فاصله بین ذرات دوده افزایش و در نتیجه مقاومت حجمی نمونه افزایش می‌یابد. در محدوده دمای 135°C به دلیل نزدیک شدن به دمای شیشه‌ای کامپوزیت، حرکت ذرات دوده در ماتریس پلیمری افزایش می‌یابد و در نتیجه ذرات دوده باز به یکدیگر می‌چسبند و مقاومت حجمی کامپوزیت کاهش می‌یابد. همچنین با کاهش WPE انتظار می‌رود که وابستگی مقاومت حجمی به دما کاهش یابد؛ زیرا در این صورت مسیر هدایت تابع دما نخواهد بود.

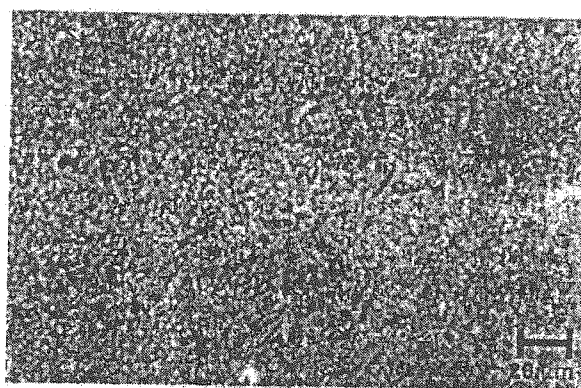
در این راستا تحقیقاتی نیز در مورد زمان پخت بر روی مقاومت الکتریکی آمیزه انجام شد. بر طبق این تحقیقات، تشکیل گروه‌های یونی یا قطبی در مراحل اولیه واکنش پخت سبب می‌شود که مقاومت الکتریکی کامپوزیت با زمان کاهش یابد زیرا قطعات باردار برای هدایت جریان تشکیل می‌شوند. ولی در مراحل بعدی یک حالت تعادلی حاصل می‌شود و تشکیل حامل‌های باردار هادی با تشکیل اتصالات عرضی خنثی می‌شوند. بنابراین میزان مقاومت الکتریکی ثابت می‌ماند [۱۴].



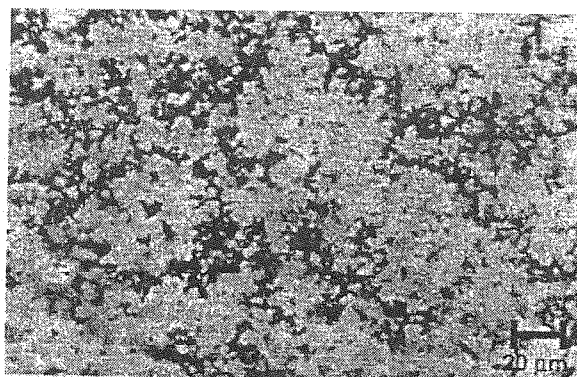
شکل (۸): تأثیر دمای پخت بر روی میزان مقاومت الکتریکی

در شکل (۹) اثر زمان اختلاط بر روی مقاومت الکتریکی کامپوزیت نشان داده شده است. مشاهده می‌شود که در ابتدا با افزایش زمان اختلاط مقاومت الکتریکی آمیزه کاهش می‌یابد. دلیل این امر احتمالاً اعمال تنش بر روی ساختار دوده موجود در آمیزه در حین اختلاط است که باعث شکسته شدن ساختار دوده می‌شود. با پیشرفت زمان اختلاط، ساختار شکسته شده در ماتریس پخش می‌شود و ساختار همگنی از دوده در ماتریس تشکیل می‌گردد که باعث بهبود هدایت الکتریکی و کاهش مقاومت الکتریکی می‌شود. پس از گذشت مدت زمان خاصی، به دلیل تشکیل مجدد ساختار دوده و ایجاد خوشه، مقاومت الکتریکی آمیزه افزایش می‌یابد ولی در نهایت کمتر از مقاومت الکتریکی در ابتدای اختلاط است.

افزایش و پس از آن کاهش می‌یابد. به دلیل انبساط حرارتی رزین با دما، مسیرهای هدایت الکتریسیته شکسته و فاصله بین ذرات دوده افزایش و در نتیجه مقاومت حجمی نمونه افزایش می‌یابد. در محدوده دمای 135°C به دلیل نزدیک شدن به دمای شیشه‌ای کامپوزیت، حرکت ذرات دوده در ماتریس پلیمری افزایش می‌یابد و در نتیجه ذرات دوده باز به یکدیگر می‌چسبند و مقاومت حجمی کامپوزیت کاهش می‌یابد. همچنین با کاهش WPE انتظار می‌رود که وابستگی مقاومت حجمی به دما کاهش یابد؛ زیرا در این صورت مسیر هدایت تابع دما نخواهد بود.

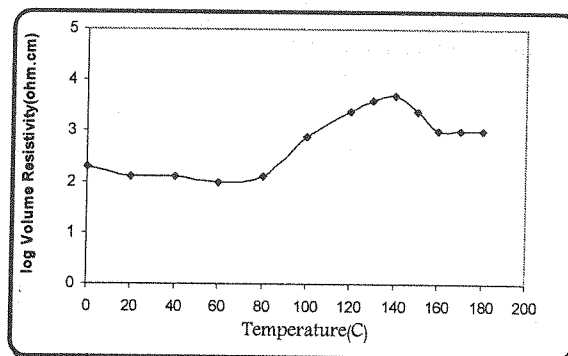


(ب) بدون افزودن یون



(ف) با افزودن یون

شکل (۶): تصاویر میکروسکوپ نوری



شکل (۷): تأثیر دمای آزمون بر روی میزان مقاومت الکتریکی

شکل (۸) تأثیر دمای پخت را بر روی میزان مقاومت الکتریکی کامپوزیت در درصد حجمی ۱/۲٪ دوده PRINTEX

Vikki, T.; Ikkala, O.; Pietila, L. O., "Processability of Electrically Conductive Polyaniline Due to Molecular Recognition in Conductive Polymers and Plastics in Industrial Applications", L. Rupprecht Editor, Ch. 3, p.19 1999.

Genskens, G.; De Kezel, E.; Blacher, S.; Brouers, F., European Polymer Journal, 27, 1261 1991.

Gubbels, F.; Jermore, R.; Tessie, Ph.; Vanlathem, E.; Deltour, R.; Calderone, A.; Parente, V.; Breads, J. L., Macromolecules, 27, 1972, 1994.

Tchoudakov, R.; Breuer, O.; Narkis, M.; Siegman, A., Polym. Eng. Sci., 36 1336, 1996.

Sumita, M.; Sakata, K.; Asai, S.; Miyasaka, K.; Nakagawa, H.; Polym. Bull., 25 265, 1991.

Sumita, M.; Sakata, K.; Nakagawa, H.; Asai, S.; Miyasaka, K.; Tanemura, M., Colloid Polym Sci., 270, 134, 1992.

Feng, J.; Chan, C. M.; "Carbon Black Filled Immiscible Blend of Poly(Vinylidene Fluoride) and High Density Polyethylene: Electrical Properties and Morphology in Conductive Polymers and Plastics in Industrial Applications", L. Rupprecht Editor, Ch. 7, p. 43 1999.

Nixon, A. C.; "Rheological Characterization of an Electrically Conductive Composite in Conductive Polymers and Plastics in Industrial Applications", L. Rupprecht Editor, Ch. 8, P. 57, 1999.

Weber, M.; Kamal, M. R., "Estimation of the Volume Resistivity of Conductive Fiber Composites by Two New Models in Conductive Polymers and Plastics in Industrial Applications", L. Rupprecht Editor, Ch. 9, P. 61 1999.

Lee, J. Y.; Kim, D. Y.; Kim, C. Y.; Song, K. T.; "Effect of Thermal Treatment on Electrical Conductivity of Polypyrrole Film Cast from Solution in Conductive Polymers and Plastics in Industrial Applications", L. Rupprecht Editor, Ch. 10, P. 69 1999.

Danescu, R. I.; Zumbrennen, D. A., "Creation of Electrically Conducting Plastics by Chaotic Mixing in Conductive Polymers and Plastics in Industrial Applications", L. Rupprecht Editor, Ch. 11, P. 77 1999.

Danescu, R. I.; Zumbrennen, D. A., "Production of Electrically Conducting Plastics at Reduced Carbon Black Concentrations by Three Dimensional Chaotic Mixing in Conductive Polymers and Plastics in Industrial Applications", L. Rupprecht Editor, Ch. 12 P. 85 1999.

Haddadi-asl, V.; Mohammadi, T., Iranian Journal of Polymer, Vol. 5, No. 3, 1996.

Haddadi-asl, V., Iranian Journal of Polymer, Vol. 5, No. 2, 1996

[۵]

[۶]

[۷]

[۸]

[۹]

[۱۰]

[۱۱]

[۱۲]

[۱۳]

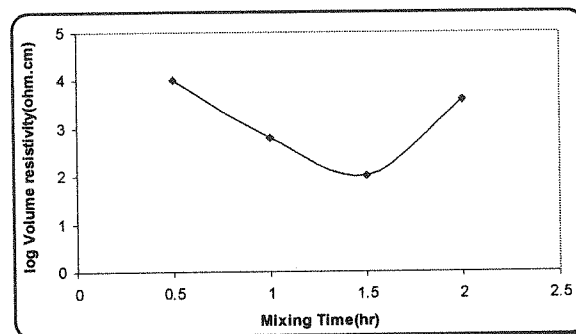
[۱۴]

[۱۵]

[۱۶]

[۱۷]

[۱۸]



شکل (۹): تأثیر زمان اختلاط بر روی میزان مقاومت الکتریکی

۴- نتیجه گیری

- (۱) با افزایش ساختار دوده آستانه هدایت به درصد های پایین تری منتقل می شود.
- (۲) با کاهش ویسکوزیته رزین، آستانه هدایت به درصد های پایین تری منتقل می شود.
- (۳) اعمال برش ملایم سبب می شود که آستانه هدایت به درصد های پایین تری منتقل شود.
- (۴) افزودن یون و به تبع آن خنثی سازی بار های الکتروستاتیکی حاصل در حین فرآیند اختلاط سبب می شود که آستانه هدایت به درصد های پایین تری منتقل شود.
- (۵) افزایش دمای پخت که به دلیل کاهش ویسکوزیته و تشکیل آسانتر شبکه های هادی رخ می دهد، سبب می شود که آستانه هدایت به درصد های پایین تری منتقل شود.
- (۶) با افزایش دمای محیط آزمایش هدایت الکتریکی کاهش می یابد، حال آنکه در حوالی دمای شیشه ای شدن هدایت الکتریکی افزایش می یابد.
- (۷) با افزایش زمان اختلاط ابتدا مقاومت الکتریکی آمیزه کاهش می یابد و پس از گذر از مقدار کمینه با تشکیل مجدد ساختار دوده افزایش می یابد.

۵- مراجع

- [۱] Karasz, M. A.; Wnek, G. E.; "Electrically Conducting Polymers: Newer Applications in Macromolecular Design of Polymeric Materials", New York, Ch. 32 p. 561, 1997
- [۲] Das, N. C.; Chaki, T. K.; Khastgir, D.; "Carbon fiber filled conductive composites based on EVA EPDM and their blends", Journal of Polymer Engineering, 22 115-136, 2002.
- [۳] Das, N. C.; Chaki, T. K.; Khastgir, D.; "Effect of processing parameter, applied pressure and temperature on the electrical resistivity of rubber based conductive", Carbon, 40 807-816, 2002.
- [۴] Epstein, A. J., "Electrical Conductivity in Conjugated Polymers in "Conductive Polymers and Plastics in Industrial Applications", L. Rupprecht Editor, Ch. 1, p. 1, 1999.