

مطالعه و بررسی خواص الکتریکی پلی اتیلن با دانسیته بالا (HDPE) و نانوکامپوزیت پلی اتیلن - خاک رس شبکه‌ای شده توسط اشعه الکترونی و روش شیمیایی

نورالدین گودرزیان^{۱*} و محمد امین شامخی^۲

۱- دانشگاه آزاد اسلامی واحد شیراز، گروه شیمی کاربردی
۲- دانشگاه جامع علمی کاربردی پاسارگاد، بخش مهندسی شیمی

تاریخ ثبت اولیه: ۱۳۸۸/۰۴/۱۶، تاریخ دریافت نسخه اصلاح شده: ۱۳۸۸/۰۵/۲۹، تاریخ پذیرش قطعی: ۱۳۸۸/۰۶/۱۸

چکیده

شبکه‌ای نمودن پلی اتیلن با دانسیته بالا و نانوکامپوزیت پلی اتیلن - خاک رس ابتدا توسط اشعه الکترونی با انرژی بالا (EB) انجام شد و سپس هر دو نوع نمونه توسط دی کیومیل پراکسید (DCP) شبکه‌ای گردیدند و با آنالیزهای متعدد تاثیر نوع شبکه‌ای نمودن پلیمر و ارتباط آن با خواص الکتریکی مورد بررسی قرار گرفت. به این منظور میزان محتوای ژل نمونه‌ها توسط استخراج با حلال تعیین گردید و آزمایش میزان شبکه‌ای شدن نمونه‌ها توسط دستگاه مانایی دمایی انجام شد. نتایج نشان می‌دهد که در محتوای ژل یکسان خواص الکتریکی پلیمرهای شبکه‌ای شده توسط دو روش، متفاوت می‌باشند. همین نتایج در مورد ارتباط خواص الکتریکی مانند مقاومت حجمی، ثابت دی الکتریک و استحکام دی الکتریک با میزان محتوای ژل برای نمونه‌های حاوی نانو خاک رس، بدست آمد. به عبارت دیگر اغلب خواص الکتریکی در نمونه‌های شبکه‌ای شده توسط اشعه تغییر اندکی داشته‌اند، اما در نمونه‌های شبکه‌ای شده توسط روش شیمیایی میزان تغییرات نسبت به محتوای ژل بیشتر است.

واژه‌های کلیدی: نانوکامپوزیت، پلی اتیلن، خاک رس، خواص الکتریکی.

۱- مقدمه

ذوب می‌شود. پلیمرهای شبکه‌ای شده در صورت قرار گرفتن در یک حلال مناسب متورم و ژله‌ای می‌شوند اما در آن حلال حل نمی‌شوند. تشکیل پیوندهای عرضی باعث افزایش مقاومت در برابر تخریب‌های حرارتی پلیمر می‌شود. بسیاری از خواص مکانیکی و گرمایی پلی اتیلن در اثر شبکه‌ای شدن را بهبود می‌یابد. شبکه‌ای کردن پلی اتیلن از سه طریق امکان پذیر است:

اولین اقدام برای شبکه‌ای کردن پلی اتیلن و ایجاد اتصالات عرضی، در دهه ۱۹۴۰ در انگلیس انجام گرفت [۵-۱]. واکنش‌های شبکه‌ای کننده از طریق ایجاد پیوندهای عرضی بین زنجیرها و ایجاد ساختار شبکه‌ای سه بعدی، باعث تبدیل شدن پلیمر به ماده‌ای غیر محلول و غیر قابل

* عهده‌دار مکاتبات: نورالدین گودرزیان

نشانی: شیراز، دانشگاه آزاد اسلامی واحد شیراز، گروه شیمی کاربردی

تلفن: ۰۶۲۶۲۱۰۲-۰۷۱۱، دورنگار: ۰۶۲۶۲۱۰۲-۰۷۱۱، پست الکترونیکی: goodarziaan_nooredin@iaushiraz.ac.ir

به ازای واحد ضخامت (V/mm) است. اغلب به دلیل وجود ناخالصی، مواد دارای مقدار جزئی هدایت هستند. در میدان‌های شدید، خود الکترون‌ها نیز می‌توانند به عنوان حامل‌های جدید به پلیمر اضافه شده و سبب افزایش هدایت شوند. با افزایش اختلاف پتانسیل بین قطب‌های دستگاه، ناگهان دی‌الکتریک به جایی می‌رسد که جریان از آن عبور می‌کند. در این حالت است که اصطلاحاً گفته می‌شود، پدیده شکست دی‌الکتریک اتفاق افتاده است. به عبارت دیگر در این حالت پلیمر عایق، با عبور یک شدت جریان ماکزیمم تبدیل به یک هادی شده است [۱۴]. مقاومت دی‌الکتریک با افزایش دما، کاهش و با افزایش ولتاژ، افزایش می‌یابد. وزن مولکولی بالا، ایجاد اتصالات عرضی و بلورینگی نیز باعث افزایش مقاومت دی‌الکتریک می‌شود و وجود ناخالصی، مقاومت دی‌الکتریک را کاهش می‌دهد [۹]. مقاومت حجمی در واقع مقاومت اهمی ماده دی‌الکتریک است هنگامی که کل توده دی‌الکتریک به عنوان یک هادی بین دو قطب الکتروود قرار می‌گیرد. این مقاومت به دما، فرکانس و ولتاژ بستگی دارد و با توجه به شرایط ماده تغییر خواهد کرد [۱۱]. علاوه بر موارد قبل، شبکه‌ای نمودن پلی‌اتیلن ماکزیمم دمای مجاز عایق را افزایش داده و همچنین در هنگام افزایش جریان الکتریکی و لحیم‌کاری مقاومت دمایی را افزایش می‌دهد. همچنین، این پلیمرها را قادر می‌سازد تا در دمای بالاتر از دمای نرم‌شدگی خود برای یک مدت طولانی با استفاده از یک آنتی‌اکسیدان مناسب مورد استفاده قرار گیرند [۶].

به عبارت دیگر، در خطوط انتقال جریان فشار قوی و همچنین در کاربردهایی که امکان افزایش دمای عایق وجود دارد با استفاده از شبکه‌ای نمودن و افزایش آنتی‌اکسیدان در حین فرآورش و اعمال روکش، دمای سرویس‌دهی قطعه و یا روکش افزایش می‌یابد. بین روش‌های شبکه‌ای نمودن آرایه شده، روش شبکه‌ای نمودن با اشعه الکترونی دارای مزیت‌هایی است که عبارت است از:

- ۱) محدودیت دمایی ندارد.
- ۲) پروکسید باقی‌مانده یا محصول جانبی ناخواسته دیگری ندارد.
- ۳) سرعت شبکه‌ای شدن آن بالا است.
- ۴) مصرف انرژی آن پایین است.

۱- روش شیمیایی یا روش پراکسیدی

۲- روش پرتودهی با پرتوهای پرنرژی (اشعه گاما یا پرتو الکترونی)

۳- روش پرتودهی با نور (UV یا لیزر)

در هر سه روش رادیکال‌های آزاد باعث ایجاد پیوندهای عرضی می‌شوند. تشکیل پیوند عرضی در پلی‌اتیلن به روش پرتودهی نسبت به روش شیمیایی که به طور قابل توجهی به مقدار انرژی کمتر و فضای کوچک‌تری احتیاج دارد؛ سریع‌تر صورت گرفته و بازده بیش‌تری دارد. همچنین، از نظر محیطی قابل قبول‌تر است. پلی‌اتیلن شبکه‌ای شده به روش پراکسیدی، شامل مواد شیمیایی است که همراه با پخت سیستم تولید می‌شوند و اغلب اثرات زیان‌آوری بر خواص دی‌الکتریک می‌گذارند و در بعضی موارد از نظر زیست محیطی ناسالم به حساب می‌آیند، اما اکثر پلی‌اتیلن‌های شبکه‌ای شده از طریق روش شیمیایی به وجود می‌آیند؛ زیرا روش‌های پرتودهی پرنرژی دارای معایبی هستند که از جمله می‌توان به هزینه زیاد ماشین‌آلات آن و ناهمگنی شبکه‌های ایجاد شده اشاره کرد [۷-۴].

عوامل تعیین‌کننده خواص دی‌الکتریک، ثابت دی‌الکتریک (نشان‌دهنده پلاریزاسیون صورت گرفته در پلیمر) و ضریب اتلاف عایقی ($\tan \delta$) می‌باشد [۸].

پارامترهای موثر بر خواص هدایت، شامل مقاومت دی‌الکتریک یا ولتاژ شکست و میزان هدایت الکتریکی می‌باشد. یک عایق بطور کلی باید مقاومت دی‌الکتریک بالایی داشته باشد تا بتواند میدان الکتریکی را تحمل کند و مقاومت عایقی بالایی برای جلوگیری از نشت جریان داشته باشد. همچنین، مقاومت بالایی در حین جرقه زدن داشته باشد.

برای خطوط انتقال جریان نظیر سیم و کابل هر چه میزان ثابت دی‌الکتریک کمتر باشد، مطلوب‌تر است، زیرا با افزایش ثابت دی‌الکتریک میزان بار ذخیره شده در دی‌الکتریک افزایش می‌یابد. با افزایش میزان دانسیته شبکه‌ای شدن، تحرک زنجیرها محدود می‌شود و این امر سبب کاهش فاکتور اتلاف می‌گردد [۱۴-۸].

استحکام دی‌الکتریک یک ماده شامل ماکزیمم ولتاژ لازم برای متلاشی و شکسته شدن دی‌الکتریک بر حسب ولتاژ

اراک و بندر امام و پلی اتیلن گرفت شده با مالئیک اندرید ساخت شرکت Admer و خاک رس اصلاح شده (Å) ۱۵، Cloisite) ساخت شرکت Sothern Clay آمریکا که فاصله بین لایه‌های آن ۱۵ Å می‌باشد، استفاده شد. عامل شبکه‌ای کننده DCP با دانسیته $d = 1/0.2 \text{ g/cm}^3$ و درصد خلوص ۹۸٪ از شرکت GMBH آلمان تهیه گردید. در تعیین کسر ژل نمونه‌ها، همچنین از حلال زایلن و آنتی اکسیدان Cyanox ۲۲۴۶ ساخت شرکت کیمیا صنعت استفاده شد.

۲-۲- تجهیزات و تهیه نانو کامپوزیت

جهت تهیه اختلاط پلیمر، سازگارکننده و خاک رس ابتدا نانوکامپوزیت پلی اتیلن - خاک رس ۱۰٪ تهیه و سپس با رقیق‌سازی با پلیمر، نمونه‌های نانوکامپوزیت پلی اتیلن خاک رس ۴٪ و ۶٪ تهیه شد. این عمل در دستگاه مخلوط‌کن داخلی ساخت شرکت Germany, Brabender انجام شد. دمای دستگاه برای نمونه‌های فاقد نانو خاک رس 145°C و برای دیگر نمونه‌ها 170°C تنظیم شد. عمل اختلاط ابتدا با سرعت (RPM) کم شروع و در مرحله رقیق‌سازی به حداکثر سرعت رسانده شد. در نمونه‌های حاوی عامل شبکه‌ای کننده شیمیایی DCP، این ماده در حین اختلاط اضافه شد. نانوکامپوزیت‌های ساخته شده سپس توسط دستگاه پرس گرم (Dr. Collin) به صورت ورقه با ضخامت $1 \pm 0.2 \text{ mm}$ در آمدند. نمونه‌های حاوی DCP زیر پرس در دمای 195°C پخت شدند و نمونه‌های فاقد آن تحت تابش اشعه الکترونی قرار گرفتند. نمونه‌های پلی اتیلن تحت تابش با دوز ۵۰ تا ۳۰۰ kGy و سرعت دوز (Dose Rate) یکسان قرار گرفتند. جهت پرتودهی، از یک دستگاه شتاب‌دهنده الکترون مدل TT200 نوع رودترون با انرژی ۱۰ MeV و حداکثر جریان ۸ mA استفاده شد.

۲-۳- بررسی خواص

کسر ژل نمونه‌ها، طبق استاندارد ASTM D-2756 انجام شد. جهت انجام آزمایش مانای دمایی، از آون مخصوص با مدل (UT 5060 HS Heraeus, Germany) و استاندارد

(۵) فضای لازم جهت تجهیزات شبکه‌ای نمودن کمتر است. بر همکنش اشعه الکترونی با مواد هم باعث شبکه‌ای شدن و هم باعث گسست زنجیر می‌گردد. بسته به ساختار زنجیر پلیمر، دوز پرتودهی هر کدام از پدیده‌های شبکه‌ای شدن یا تخریب ممکن است غالب گردد. ساختار پلی اتیلن به گونه‌ای است که با تابش اشعه الکترونی بیشتر دچار پدیده شبکه‌ای شدن می‌گردد. به عبارت دیگر، وجود گروه‌های متیلن در زنجیر پلی اتیلن باعث می‌گردد با تابش اشعه الکترونی نسبت به سایر پلیمرها، میزان شبکه‌ای شدن آن بیشتر شود [۵-۸].

پلی اتیلن یکی از مهمترین پلیمرهای ترموپلاستیک است که کاربردهای آن به دلیل دمای ذوب پایین، حلالیت و یا تورم در حلال هیدروکربنی و تمایل به شکست هنگام وجود تنش، کاهش یافته است. با شبکه‌ای نمودن پلی اتیلن خواصی نظیر چقرمگی، مقاومت ضربه‌ای و مقاومت در برابر حلال‌های شیمیایی بهبود می‌یابد. به عبارت دیگر، پلیمرهای نیمه کریستالین (Semi-crystalline) با شبکه‌ای شدن، در نقطه ذوب (T_m) خواص مکانیکی ترموپلاستیک‌ها و در بالای T_m خواص را از خود نشان می‌دهند [۱۱-۱۸]. در روش شبکه‌ای نمودن شیمیایی، از پراکسیدها و سیلان‌ها استفاده می‌شود. ماده‌ای که اغلب در پخت پراکسیدی مورد استفاده قرار می‌گیرد، دی کیومیل پراکسید (DCP) است. این ماده در دماهای حدود $125-120^\circ\text{C}$ تجزیه شده و رادیکال آزاد تولید می‌کند. اما مزیت‌های شبکه‌ای نمودن توسط اشعه سبب شده است که این روش رشد ۱۵-۱۰ درصدی را از سال ۱۹۷۰ داشته باشد [۱۱]. به علاوه، مصرف انرژی برای روش شبکه‌ای نمودن الکترونی به مراتب کمتر از روش‌های شیمیایی است. با توجه به اهمیت اندازه‌گیری خواص الکتریکی در پروژه حاضر، خواص الکتریکی نمونه‌های شبکه‌ای شده با اشعه الکترونی و روش شیمیایی با یکدیگر مقایسه شده است.

۲- فعالیت‌های تجربی

۲-۱- مواد

پلی اتیلن با دانسیته بالا (HDPE) گرید ۴۴۰۰۵ و $0.955 = \text{MFI}$ و دانسیته $d = 0.944 \text{ g/cm}^3$ از شرکت پتروشیمی

گردید. نمونه‌های انتخاب شده دارای محتوای ژل یکسان در جدول ۱ و ۲ ارائه شده‌اند.

۳-۱- آزمون مانایی دمایی (Hot set) و کسر ژل

جهت اطمینان از اینکه نمونه‌های انتخاب شده دارای میزان شبکه‌ای شدن یکسان می‌باشند، نمونه‌ها توسط آزمون Hot set مورد آزمایش قرار گرفتند و مشخص شد که نمونه‌های ارائه شده در جدول‌های ۱ و ۲ در محتوای ژل یکسان دارای ازدیاد طول (15-10 mm) یکسان هستند. ازدیاد طول بدست آمده توسط نمونه‌های مختلف در جدول‌های ۱ و ۲ گزارش شده است. نمونه‌های نشان داده شده با علامت R، نمونه‌های شبکه‌ای شده با اشعه می‌باشند و نمونه‌های نشان داده شده با علامت C، نمونه‌های شبکه‌ای شده با عامل شیمیایی می‌باشند. در این میان نمونه‌های نشان داده شده با RN و CN نمونه‌های نانوکامپوزیت شبکه‌ای شده توسط اشعه و روش شیمیایی می‌باشند.

۳-۲- مقاومت حجمی (Volume Resistance)

در فرایند شبکه‌ای شدن اشعه‌ای ممکن است نقایصی توسط اشعه در ماده بوجود آید. هر چه دوز دریافتی بیشتر باشد میزان این نقص‌های شبکه‌ای نیز در زنجیر پلیمر افزایش می‌یابد. چنین نقایصی ممکن است مقاومت حجمی را به واسطه ایجاد مسیرهای انتقال جریان نسبت به نمونه‌های شبکه‌ای نشده توسط اشعه کاهش دهد. شکل‌های ۱ و ۲ نتایج این آزمایش‌ها را نشان می‌دهد.

با توجه به این شکل‌ها، نمونه‌های شبکه‌ای شده با اشعه الکترونی کاهش مقاومت حجمی اندکی را نشان می‌دهد و در نمونه‌های شبکه‌ای شده توسط DCP مقاومت حجمی افزایش پیدا کرده است که می‌تواند به دلیل ایجاد شبکه‌های پلیمری باشد.

با ایجاد شبکه‌های پلیمری در صورتی که نقص ایجاد شود امکان هدایت جریان از طریق پلیمر به واسطه افزایش دانسیته شبکه‌ای شدن و افزایش پیوند بین زنجیرها کاهش می‌یابد که این خود می‌تواند سبب افزایش مقاومت حجمی شود. همانطور که در شکل‌های ۱ و ۲ نشان داده

DIN 57472 part602 VDE 0472 استفاده گردید. به این منظور نمونه‌های دمبل شکل درون آون مانای دمایی تحت یک بار ثابت در دمای 200°C قرار گرفتند و درصد ازدیاد طول بعد از ۱۵ دقیقه مورد اندازه‌گیری قرار گرفت.

جهت انجام کلیه خواص الکتریکی تمامی نمونه‌ها برای مدت ۲۴ ساعت درون دسیکاتور قرار گرفتند. مقاومت حجمی توسط دستگاه Teraohmmeter Ceast و طبق استاندارد ASTM D-257 انجام گردید. اندازه‌گیری ضریب اتلاف و ثابت دی‌الکتریکی نمونه‌ها توسط دستگاه (TRS-10T, Ando Electric company, Japan) و طبق استاندارد ASTM D-150 انجام گردید. اندازه‌گیری ولتاژ شکست توسط دستگاه (P/N 6135.053, CEAST Company, Italy) طبق استاندارد ASTM D-149 اندازه‌گیری گردید.

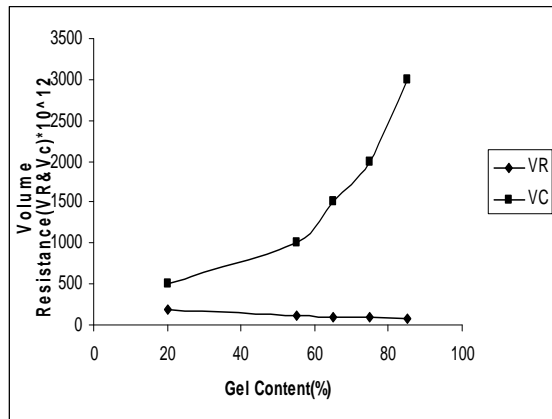
۳- نتایج و بحث

پلیمرهای قابل شبکه‌ای شدن که جهت عایق‌های سیم و کابل مورد استفاده قرار می‌گیرند؛ شامل پلی‌اولفین‌ها، فلئورو پلیمرهای مخصوص و الاستومرها می‌باشند. فرآیند شبکه‌ای شدن توسط اشعه با فرایند شبکه‌ای شدن شیمیایی از دو دیدگاه متفاوت است:

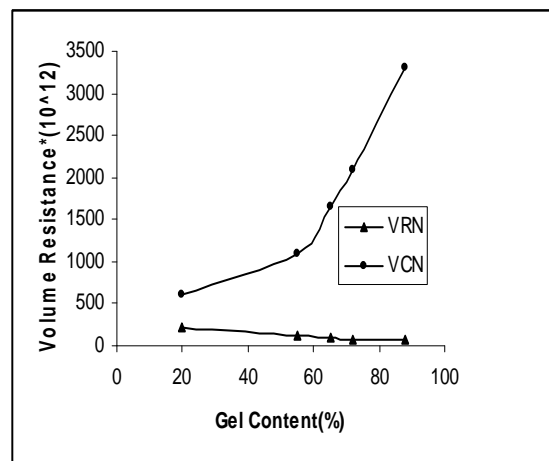
۱- شبکه‌ای شدن توسط اشعه در حالت غیر مذاب رخ می‌دهد در حالیکه شبکه‌ای شدن شیمیایی در حالت مذاب رخ می‌دهد.

۲- در فرایند شبکه‌ای شدن شیمیایی به علت ورود مواد قطبی نظیر رادیکال‌های حاصل از تجزیه DCP که ماهیت قطبی دارند، انتظار می‌رود که خواص الکتریکی با نمونه‌های شبکه‌ای شده توسط اشعه الکترونی که پیوندهای آنها بیشتر ماهیت کربن - کربن دارند متفاوت باشد.

جهت بررسی چنین خواصی نمونه‌های مختلف تحت عملیات شبکه‌ای شدن شیمیایی و اشعه‌ای قرار گرفته و سپس نمونه‌های دارای محتوای ژل یکسان مورد بررسی خواص الکتریکی قرار گرفتند. به این منظور ۵ نمونه از فرمولاسیون‌هایی که دارای محتوای ژل یکسان بودند انتخاب شدند و اثر خواص الکتریکی روی آنها بررسی



شکل ۱: مقایسه روش شبکه‌ای نمودن بر روی مقاومت حجمی نمونه‌های فاقد نانو خاک رس.



شکل ۲: مقایسه روش شبکه‌ای نمودن بر روی مقاومت حجمی نمونه‌های حاوی نانو خاک رس.

شکل‌های ۳ و ۴ تغییر خواص الکتریکی را بر مبنای محتوای ژل نشان داده است. از نتایج چنین استنباط می‌شود که در نمونه‌های شبکه‌ای شده شیمیایی با افزایش میزان DCP ثابت دی‌الکتریک افزایش می‌یابد. در حالی که در نمونه‌های شبکه‌ای شده توسط اشعه الکترونی ثابت دی‌الکتریک تقریباً ثابت است. علت این پدیده وجود گروه‌های قطبی در نمونه‌های شبکه‌ای شده توسط DCP است. در حالیکه در نمونه‌های تابیده شده توسط اشعه ماهیت پیوندها بیشتر C-C است. به عبارتی دیگر پلیمر دارای گروه‌های قطبی می‌تواند بارها را بهتر در خود بصورت ممان دوقطبی‌های لحظه‌ای نگهداری نماید. در حالیکه نمونه تابیده شده توسط اشعه دارای این قابلیت نیست. همانطور که در شکل ۴ نشان داده شده است، ثابت

شده است، نمونه‌های حاوی نانو خاک رس نیز روند مشابهی را از خود نشان دادند.

جدول ۱: نتایج محتوای ژل و هات ست نمونه‌های شبکه‌ای شده توسط اشعه الکترونی.

Sample ID	Dose (kGy)	Gel Content	Elongation (%)
R ₁	۲۵	۲۰	۷۰
R _۲	۷۵	۵۵	۵۰
R _۳	۱۵۰	۶۵	۴۰
R _۴	۲۰۰	۷۵	۳۰
R _۵	۳۰۰	۸۵	۲۰
RN _۱	۲۵	۱۸	۶۰
RN _۲	۷۵	۵۰	۴۵
RN _۳	۱۵۰	۶۰	۳۰
RN _۴	۲۰۰	۷۱	۲۵
RN _۵	۳۰۰	۷۹	۱۵

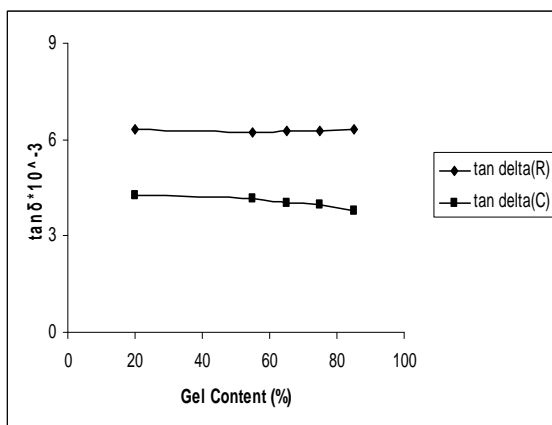
جدول ۲: نتایج محتوای ژل و هات ست نمونه‌های شبکه‌ای شده توسط روش شیمیایی.

Sample ID	DCP (%)	Gel Content	Elongation (%)
C ₁	۰/۲	۱۸	۷۰
C _۲	۰/۵	۵۳	۵۲
C _۳	۰/۷	۶۲	۴۳
C _۴	۱	۷۴	۳۵
C _۵	۱/۵	۸۷	۲۵
CN _۱	۰/۲	۱۶	۶۲
CN _۲	۰/۵	۴۸	۴۸
CN _۳	۰/۷	۵۹	۳۵
CN _۴	۱	۷۳	۳۰
CN _۵	۱/۵	۸۲	۱۸

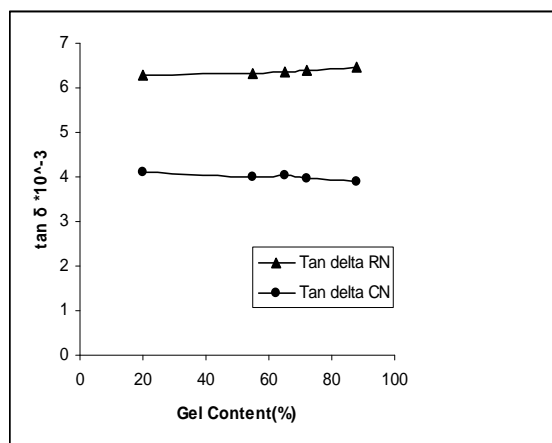
۳-۳- ثابت دی‌الکتریک (Dielectric Constant)

ثابت دی‌الکتریک توانایی یک عایق را جهت ذخیره انرژی الکتریکی نشان می‌دهد. بنابراین بهترین حالت برای یک عایق، کم بودن میزان ثابت دی‌الکتریک است تا نمونه به عنوان یک خازن عمل نکند و به عنوان یک پوشش جریان را بهتر هدایت نماید. در غیر این صورت نمونه‌های دارای ثابت دی‌الکتریک بالا انرژی زیادی را به صورت ذخیره هدر می‌دهند.

کمی با افزایش محتوای ژل کاهش می یابد، اما در نمونه های تابیده شده توسط اشعه الکترونی تغییری در میزان $\tan\delta$ مشاهده نمی شود. همانطور که در شکل ۶ مشخص است در نمونه های حاوی نانو خاک رس نیز همین روند مشاهده می شود با این تفاوت که در نمونه های حاوی نانو ذرات مقدار اتلاف به دلیل وجود قطبیت بیشتر اندکی بیشتر از نمونه های فاقد آن است.



شکل ۵: بررسی اثر روش شبکه ای نمودن بر روی فاکتور اتلاف نمونه های فاقد نانو خاک رس.

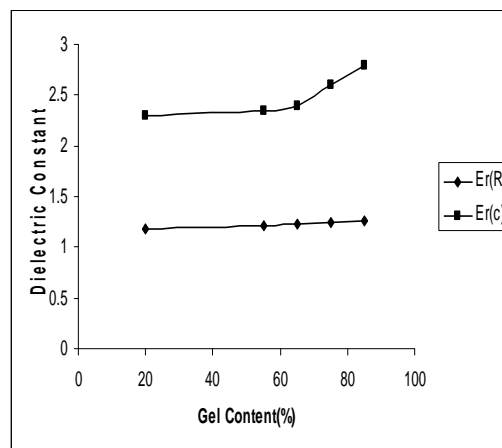


شکل ۶: بررسی اثر روش شبکه ای نمودن بر روی فاکتور اتلاف نمونه های حاوی نانو خاک رس.

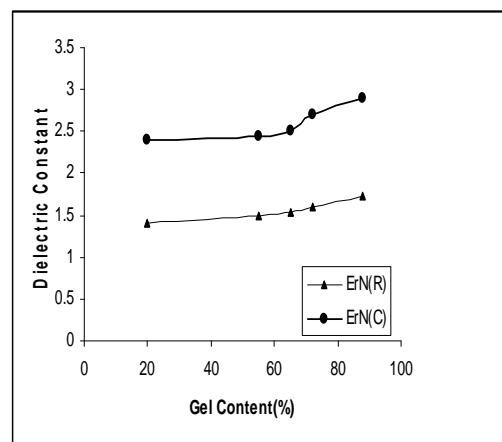
۳-۵- استحکام دی الکتریک (Dielectric strength)

شکست دی الکتریک هنگامی رخ می دهد که الکترون ها انرژی لازم را جهت عبور از عایق بدست آورند. شکل های ۷ و ۸ نشان می دهد که استحکام دی الکتریک نمونه های شبکه ای شده توسط DCP تقریباً همگی بالاتر از نمونه های

دی الکتریک نمونه های حاوی نانوذره نیز همان روند را نشان می دهد با این تفاوت که ثابت دی الکتریک نمونه های حاوی نانوذره اندکی از نمونه های فاقد آن بالاتر است که این مطلب می تواند به دلیل ماهیت قطبی نانوذرات و عامل سازگارکننده مالٹیک انیدرید باشد.



شکل ۳: مقایسه روش شبکه ای نمودن بر روی ثابت دی الکتریک نمونه های فاقد نانو خاک رس.



شکل ۴: مقایسه روش شبکه ای نمودن بر روی ثابت دی الکتریک نمونه های حاوی نانو خاک رس.

۳-۴- فاکتور اتلاف (Dissipation Factor)

برای اغلب پلیمرها با افزایش میزان شبکه ای شدن فاکتور اتلاف $\tan\delta$ کاهش می یابد به این دلیل که گروه های پلار موجود توسط شبکه ای شدن یا خنثی شده و یا مخفی می مانند. از نتایج شکل های ۵ و ۶ چنین استفاده می شود که $\tan\delta$ نمونه های شبکه ای شده توسط DCP

الکتريکی به دليل ايجاد نقاط شبکه‌ای شده با طبيعت شیمیایی تفاوت زیادی با روش اشعه الکترونی دارد که می‌تواند به دليل خنثی بودن نقاط شبکه‌ای شده در روش اشعه‌ای باشد. از طرف دیگر با وارد نمودن خاک رس به داخل پلیمر برخی خواص مانند استحکام دی‌الکتريک بهبود می‌یابد و برخی دیگر نیز مانند فاکتور اتلاف افزایش می‌یابد که در عایق‌ها مطلوب نمی‌باشد.

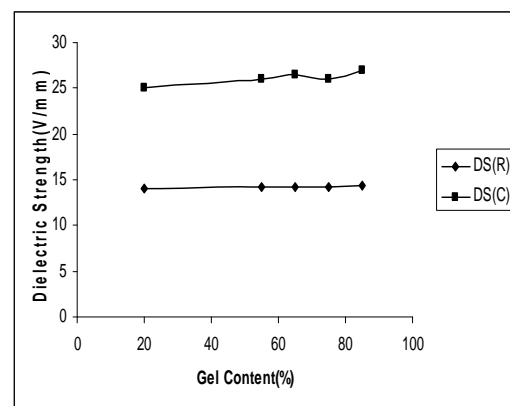
سپاسگزاری

وظیفه خود می‌دانیم که از معاونت پژوهشی دانشگاه آزاد اسلامی واحد شیراز جهت تامین اعتبار این طرح پژوهشی، مسئولین و کارشناسان محترم آزمایشگاه‌های پژوهشگاه پلیمر و پتروشیمی ایران، کارخانه کابل‌سازی شیراز، مرکز انرژی اتمی یزد، مسئولین و کارشناسان محترم موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی شیراز، مسئولین و کارشناسان محترم آزمایشگاه‌های مهندسی صنایع پلیمر دانشگاه آزاد اسلامی واحد داراب و آقای مهندس ابوالفضل محبی که ما را در انجام این پروژه یاری نمودند تشکر و قدردانی نمائیم.

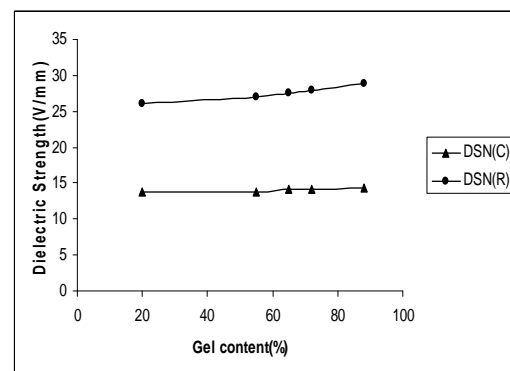
مراجع

- [1] S. Ota, *Radiation Physics and Chemistry*, **18**, 1981, 1.
- [2] S. Kumar, M.V. Panda, *Journal of Applied Polymer Science*, **64**, 1997, 823.
- [3] S.R. Chowdhury, J.K. Mishra, C.K. Das, *Macromolecular Materials and Engineering*, **286**, 2001, 243.
- [4] A. Lendlein, S. Kelch, *Angewandte Chemie-International Edition*, **41**, 2002, 2034.
- [5] R. Rado, P. Zelenak, *International Polymer Science Technology*, **19**, 1992, 72.
- [6] J.W. Hoffman, *IEEE Electrical Insulation Magazine*, **7**, 1991, 33.
- [7] J.W. Hoffman, *IEEE Electrical Insulation Magazine*, **7**, 1991, 16.
- [8] J.G. Drobny, "Radiation Technology for polymers", CRC press, New York, 2002.
- [9] R.L. Clough, J. Silverman, "Radiation Processing of Polymers", Hanser, Munich, 1992.
- [10] D.J. Gheysari, A. Behjat, *European Polymer Journal*, **37**, 2001, 2011.
- [11] D.J. Gheysari, A. Behjat, M. Haji-Saeid, *European Polymer Journal*, **37**, 2001, 295.
- [12] D.J. Gheysari, A. Behjat, *European Polymer Journal*, **38**, 2002, 1087.
- [13] S.K. Bhateja, E.H. Andrews, *Polymer*, **24**, 1983, 160.
- [14] I. Chodak, *Progress in Polymer Science*, **20**, 1995, 1165.
- [15] I. Krupa, A.S. Luyt, *Journal of Applied Polymer Science*, **81**, 2001, 973.
- [16] S. Kumar, M.V. Panda, *Journal of Applied Polymer Science*, **64**, 1997, 823.

شبکه‌ای شده توسط اشعه الکترونی می‌باشد؛ که این می‌تواند به دليل نقایص الکترونی ذکر شده در نمونه‌های تابیده شده توسط اشعه باشد. به عبارت دیگر نقاط نقص مکانیسم‌های هدایت جریان را تسهیل می‌کند و یا به عبارت دیگر شکست دی‌الکتريک در ولتاژهای پایین‌تر، سریع‌تر اتفاق می‌افتد. در نمونه‌های حاوی نانو خاک رس نیز همین روند مشاهده می‌شود با این تفاوت که استحکام دی‌الکتريک نمونه‌های حاوی خاک رس کمی بالاتر است که این مطلب می‌تواند به خاطر کاهش مسیرهای عبور جریان به دليل وجود صفحات خاک رس باشد.



شکل ۷: بررسی اثر روش شبکه‌ای نمودن بر روی استحکام دی‌الکتريک نمونه‌های فاقد نانو خاک رس.



شکل ۸: بررسی اثر روش شبکه‌ای نمودن بر روی استحکام دی‌الکتريک نمونه‌های فاقد نانو خاک رس.

۴- نتیجه‌گیری

نتایج تحقیق حاضر نشان می‌دهد که نوع سیستم شبکه‌ای نمودن تاثیر زیادی بر روی خواص الکتريکی پلیمرها دارد. به عبارت دیگر در روش شبکه‌ای نمودن شیمیایی، خواص

[18] S. Dadbin, M. Frounchi, M. Haji Saeid, F. Gangi, *Journal of Applied Polymer Science*, **86**, 2000, 1959.

[17] M. Lazar, R. Rado, J. Rychly, *Advances in Polymer Science*, **95**, 1990, 151.