

مطالعه رفتار رئولوژیکی دینامیکی پلی اتیلن پر شده با دوده

Study on the Dynamic Rheological Behavior of Polyethylene Filled with Carbon Black

حسن اسلامی^{۱*}، حسین علی خنکدار سنگدهی^۱، جلیل مرشدیان^۱، سید حسن جعفری^۲

۱- تهران، پژوهشگاه پلیمر و پتروشیمی ایران، پژوهشکده فرایند، گروه پلاستیک، صندوق پستی ۱۴۹۶۵/۱۱۵

۲- تهران، دانشگاه تهران، دانشکده فنی، گروه مهندسی شیمی، صندوق پستی ۱۱۳۶۵/۴۵۶۳

دریافت: ۸۲/۴/۴، پذیرش: ۸۲/۶/۲

چکیده

در این پژوهش، رفتار رئولوژیکی دینامیکی پلی اتیلن پر شده با دو نوع دوده در دماهای مختلف بررسی شده است. رفتار ویسکوالاستیک پلیمرها به نوعی بیانگر ساختار داخلی آنهاست. بنابراین، برای تحلیل رفتار رئولوژیکی دینامیکی پلی اتیلن پر شده با دوده از تعدادی پارامترهای ویسکوالاستیک خطی استفاده شده است، از قبیل مدول ذخیره که مربوط به بخش کشسان سیستم است، مدول اتلاف که به بخش گرانشی سیستم ارتباط دارد و ضریب اتلاف که رابطه بین مدول ذخیره و مدول اتلاف است. همچنین، اثر ساختار، اندازه ذرات و مقدار دوده (۲/۵ تا ۴۰ درصد) بر خواص رئولوژیکی نیز بررسی شده است. نتایج نشان می دهد که با افزایش درصد دوده، مدول ذخیره و مدول اتلاف افزایش می یابد، درحالی که ضریب اتلاف کاهش پیدا می کند. اثر دما بر خواص رئولوژیکی پلی اتیلن پر شده با دوده نیز بررسی شده که نتیجه جالب توجهی برای تغییرات ضریب اتلاف با دما مشاهده شده است. بدین ترتیب که با افزایش دما تا فرکانس مشخصی این ضریب کاهش می یابد، ولی پس از آن، ضریب اتلاف افزایش پیدا می کند.

واژه های کلیدی

پلی اتیلن، دوده، مدول ذخیره،
مدول اتلاف، ضریب اتلاف

مقدمه

الکترونیک (گرم کنه های خودکار، فیوزها و ابزارهای محافظت کننده جریان زیاد) این نوع پلی اتیلن توجه پژوهشگران و صنعتگران بیشماری را به خود جلب کرده است [۱،۲]. از مزایای افزایش دوده به پلی اتیلن می توان پایداری در برابر پرتو UV، بهبود خواص مکانیکی، ایجاد

پلی اتیلن، پلیمری عایق با خواص خیلی خوب و قیمت ارزان است. پلی اتیلن پر شده با دوده (CB)، با افزودن دوده به پلی اتیلن مذاب و توزیع مناسب آن در داخل پلی اتیلن بدست می آید. امروزه، در صنایع مختلف از جمله صنایع سیم و کابل، مخابرات، خودرو سازی و

Key Words

polyethylene,
carbon black,
storage modulus,
loss modulus, loss factor

جدول ۱- مشخصات دوده های استفاده شده.

نوع دوده	جذب سطحی، DBP (mL/۱۰۰g)	مقدار pH	محتوای خاکستر (%)	مساحت سطح، BET (m ² /g)	متوسط اندازه ذرات (nm)
Printex XE-CB	۴۲۰	۷/۵	۱/۶	۱۰۰۰	۳۰
Hiblack HI-CB	۱۵۰	۸	۰/۴	۱۲۵	۲۳

بورلیس دانمارک و ضدآکسند ایرگانوس ۱۰۱۰ از شرکت سیباگایگی بکار رفته است و از دو نوع دوده مختلف ساخت شرکت دگوسا استفاده شده، که مشخصات آنها در جدول ۱ داده شده است.

دستگاهها

برای مخلوط کردن مواد، مخلوط کن برابندر مدل PL۲۰۰۰ با سرعت اختلاط rpm ۵۰ بکار گرفته شده است. همچنین، از پرس ۴۰۰ kN ساخت شرکت فونتیون هلند و رئومتر چرخشی با صفحه های موازی به قطر ۵۰ mm ساخت رئومتریک مدل ARES (Advanced Rheometric Expanction System) استفاده شده است.

روشها

برای تهیه پلی اتیلن پر شده با دوده، ابتدا پلی اتیلن در دمای ۱۷۰°C به مدت ۲ تا ۳ min ذوب شده و سپس دوده به آرامی به مذاب حاصل اضافه شده است و مواد به مدت ۱۵ min در مخلوط کن برابندر با سرعت rpm ۵۰ مخلوط شده است. توجه به این نکته ضروری است که دوده حتماً باید به مذاب پلیمر اضافه شود. از مخلوط حاصل به وسیله پرس گرم در دمای ۱۷۰°C و فشار ۱۰ MPa ورقه هایی با ابعاد ۱۰×۱۰×۱/۵ cm^۳ تهیه شده است. برای بررسی خواص رئولوژیکی از رئومتر چرخشی استفاده شده و ناحیه ویسکوالاستیک خطی نیز برای هر نمونه بدست آمده است. آزمایشهای رئولوژیکی دینامیکی در دامنه فرکانس ۰/۱ تا ۱۰۰ rad/s و در دماهای ۱۷۰، ۱۵۰، ۱۹۰ و ۲۱۰°C انجام شده است.

نتایج و بحث

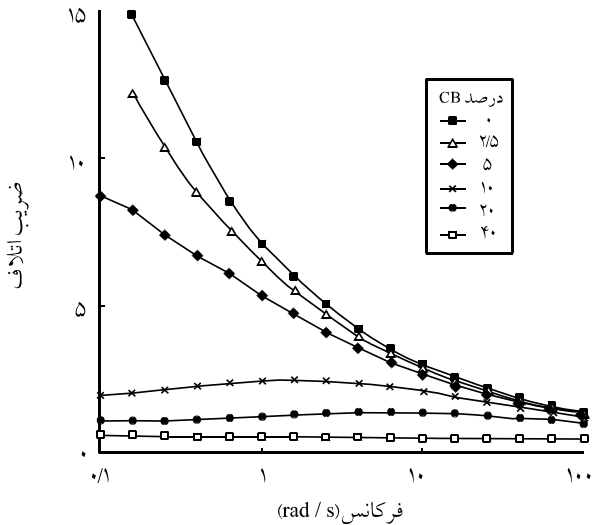
پلی اتیلن سنگین ماده ای نیمه بلوری است، بنابراین، مطالعه رفتار رئولوژیکی دینامیکی آن در بالاتر از دمای ذوب امکان پذیر است [۷]. این پژوهش، رفتار رئولوژیکی پلی اتیلن پر شده با دوده در دماهای مختلف ۱۵۰ تا ۲۱۰°C مطالعه شده است.

رنگ و کاهش قیمت محصول نهایی را نام برد. همچنین، با افزایش دوده میزان رسانایی گرمایی و الکتریکی پلی اتیلن تغییر می کند. واضح است که مخلوط کردن ذرات جامد پرکننده با پلیمرها تاثیر بسزایی در جریان پذیری مذاب آن پلیمر دارد. بنابراین، مطالعه رفتار رئولوژیکی پلیمرهای پر شده از اهمیت علمی و عملی زیادی برخوردار است. رفتار رئولوژیکی لاستیکهای پر شده با دوده بویژه رفتار رئولوژیکی دینامیکی این نوع سیستمها در دماهای مختلف توسط پژوهشگران زیادی بررسی شده است [۳-۵]. رفتار رئولوژیکی سیستمهای پر شده با دوده به ساختار، شکل شناسی، فعالیت در سطح و مقدار دوده بستگی دارد [۳، ۴]. در این زمینه مطالعات زیادی روی سیستمهای پلی اتیلن پر شده با دوده برای کاربردهای متنوع در صنایع مختلف انجام گرفته است [۶، ۷]. امروزه، استفاده از پلی اتیلن پر شده با دوده به عنوان مواد نیمه رسانا، کاربرد زیادی در صنایع الکترونیک پیدا کرده و پیشرفتهای چشمگیری در این زمینه بدست آمده است [۸-۱۱]. خواص الکتریکی پلیمرهای پر شده با دوده به ساختار دوده و توزیع مناسب و یکنواخت آن در پلیمر پایه بستگی دارد. بنابراین، خواص الکتریکی پلیمرهای پر شده ای که همگن نباشند پایدار نخواهد بود [۱۲] و تمرکز عمیقی بر ساختار پلی اتیلن پر شده با دوده ضروری بنظر می رسد. رفتار ویسکوالاستیک پلیمرها به نوعی بیانگر ساختار داخلی آنهاست و بعضی از اطلاعات درباره ساختار داخلی را می توان از مطالعه رفتار رئولوژیکی دینامیکی این نوع سیستمها بدست آورد [۱۳، ۱۴]. از این رو در پژوهش حاضر، رفتار رئولوژیکی دینامیکی پلی اتیلن پر شده با دوده مطالعه شده و اثر مقدار و دو نوع دوده در دماهای مختلف روی این سیستمها بررسی شده است.

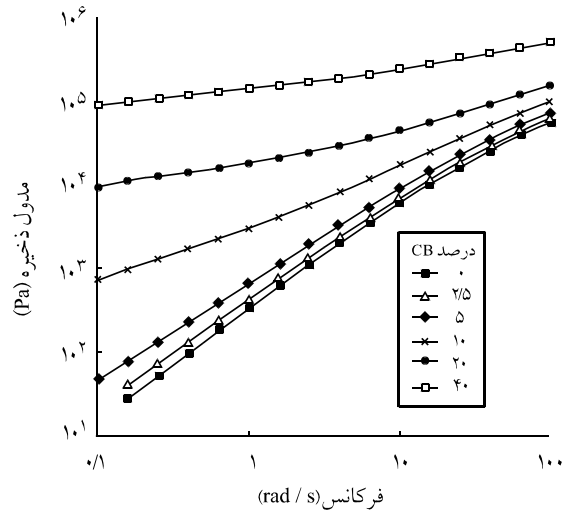
تجربی

مواد

در این پژوهش، پلی اتیلن سنگین (HDPE)، نوع MG۷۵۴VA با شاخص جریان مذاب ۴ g/۱۰ min و چگالی ۰/۹۵۴ g/cm^۳ از شرکت



شکل ۳ - تغییرات ضریب اتلاف برحسب فرکانس زاویه ای برای پلی اتیلن پر شده با مقادیر مختلف دوده در دمای 170°C .



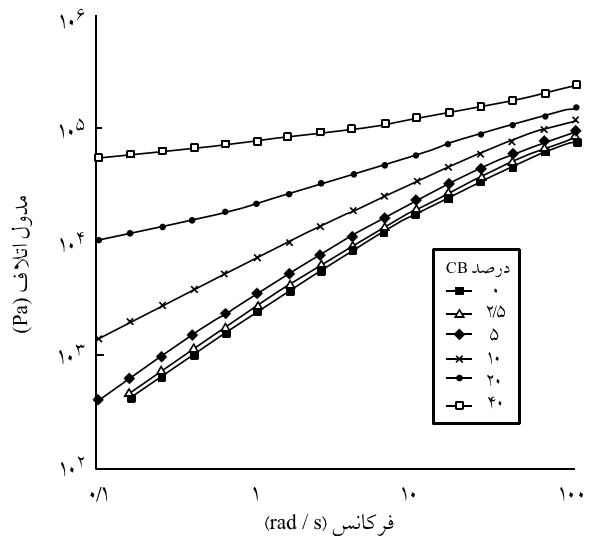
شکل ۱ - تغییرات مدول ذخیره برحسب فرکانس زاویه ای برای پلی اتیلن پر شده با مقادیر مختلف دوده در دمای 170°C .

فرکانسهای پایین خواهند داشت. این امر نشان می دهد که اگرچه رفتار ویسکوالاستیک سیستم پلی اتیلن پر شده با دوده در ابتدا به خواص پلیمر پایه (پلی اتیلن) بستگی دارد، ولی ساختار دوده باعث ایجاد شکل ویژه ای در خواص کشسانی سیستم می شود. از نتایج چنین برمی آید که در مقادیر کم دوده مشخصات فرایندی پلیمر پایه و با افزایش مقدار دوده ساختار شبکه ای آن در فرایند غالب می شود. بدین دلیل با افزایش مقدار دوده، مدول ذخیره زیاد می شود که این افزایش در فرکانسهای کم بیشتر خواهد بود. همان طور که از نمودار لگاریتم مدول ذخیره برحسب لگاریتم فرکانس زاویه ای پیداست، برای پلی اتیلن بدون دوده و پلی اتیلن پر شده با مقادیر اندک دوده (۲/۵ و ۵ درصد) یک خط راست با شیب نسبتاً زیاد حاصل شده که مربوط به ناحیه انتقال از حالت سیال به حالت بسیار کشسان است. در حالی که در درصدهای زیاد دوده در همان فرکانسهای کم خاصیت کشسانی زیادی حاصل می شود. بنابراین، در درصدهای زیاد دوده مدول ذخیره برحسب فرکانس با سرعت کمتری افزایش می یابد.

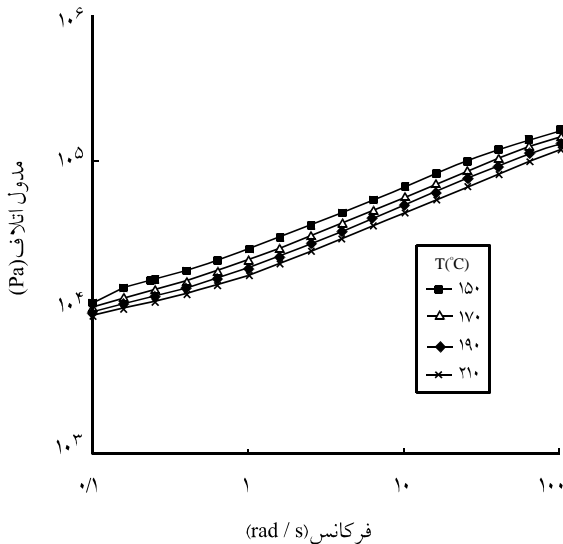
شکل ۳ نمودار تغییرات ضریب اتلاف را بر حسب فرکانس زاویه ای برای پلی اتیلن پر شده با مقادیر مختلف دوده در دمای 170°C نشان می دهد. از نتایج معلوم می شود که برای پلی اتیلن بدون دوده و پلی اتیلن با مقادیر کم دوده با افزایش فرکانس زاویه ای ضریب اتلاف کم می شود. همچنین، با افزایش مقدار دوده ضریب اتلاف کاهش پیدا می کند و این کاهش در فرکانسهای کم بیشتر می گردد، بطوری که با زیاد شدن درصد دوده (۱۰ و ۲۰ درصد) با افزایش فرکانس زاویه ای

اثر مقدار دوده

شکلهای ۱ و ۲ منحنی های تغییرات مدولهای ذخیره و اتلاف را بر حسب فرکانس زاویه ای (ω) برای پلی اتیلن پر شده با مقادیر مختلف دوده در دمای 170°C نشان می دهند. همان طور که از شکلها مشخص است مدولهای ذخیره و اتلاف با افزایش مقدار دوده زیاد می شود. همچنین، وقتی درصد دوده زیاد می شود مدولهای یاد شده افزایش چشمگیری در



شکل ۲ - تغییرات مدول اتلاف برحسب فرکانس زاویه ای برای پلی اتیلن پر شده با مقادیر مختلف دوده در دمای 170°C .



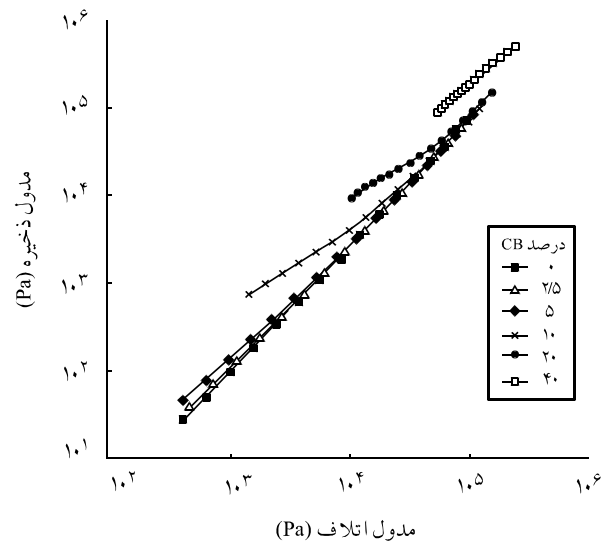
شکل ۶ - تغییرات مدول اتلاف بر حسب فرکانس زاویه ای برای پلی اتیلن پرشده با ۲۰ درصد دوده در دماهای مختلف.

ضریب اتلاف بیانگر رابطه ای است میان بخشی از شبکه که قادر به شکسته شدن و تشکیل دوباره است و بخشی که طی تغییر شکلهای دینامیکی بدون تغییر می ماند.

شکل ۴ نمودار تغییرات لگاریتم مدول ذخیره بر حسب لگاریتم مدول اتلاف را برای پلی اتیلن پرشده با مقادیر مختلف دوده در دمای ۱۷۰°C نشان می دهد. این نوع منحنی ها، که به منحنی های Cole-Cole معروف اند، برای تحلیل خواص رئولوژیکی پلیمرها و آلیاژهای پلیمری بسیار مورد استفاده قرار گرفته اند [۱۹-۱۵]. برای اکثر آلیاژهای پلیمری همگن رابطه خطی بین لگاریتم مدول ذخیره و لگاریتم مدول اتلاف مشاهده می شود که شیب این خط معمولاً کمتر از ۲ است [۷]. همان طور که شکل ۴ نشان می دهد، برای پلی اتیلن بدون دوده و پلی اتیلن پرشده با مقادیر اندک دوده رابطه ای خطی بین لگاریتم مدول ذخیره و لگاریتم مدول اتلاف برقرار است. ولی، با افزایش مقدار دوده این رابطه خطی از بین خواهد رفت. نتایج نشان می دهد که در مقادیر زیاد دوده مدول اتلاف بیش از مدول ذخیره افزایش می یابد. به بیان دیگر، وقتی درصد دوده بیشتر می شود شیب منحنی لگاریتم مدول ذخیره بر حسب لگاریتم مدول اتلاف کم می شود.

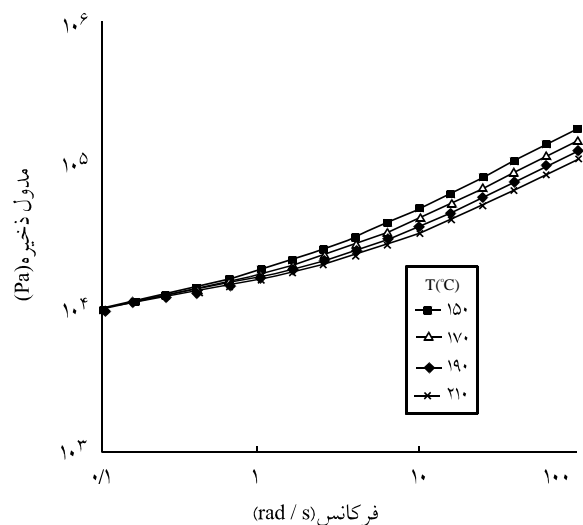
اثر دما

شکل ۵ منحنی تغییرات مدول ذخیره بر حسب فرکانس زاویه ای را برای پلی اتیلن پرشده با ۲۰ درصد دوده در دماهای مختلف نشان می دهد. همان طور که انتظار می رود، با افزایش دما تحرک پذیری زنجیرهای پلیمری افزایش می یابد، بنابراین مدول ذخیره کاهش پیدا می کند که این

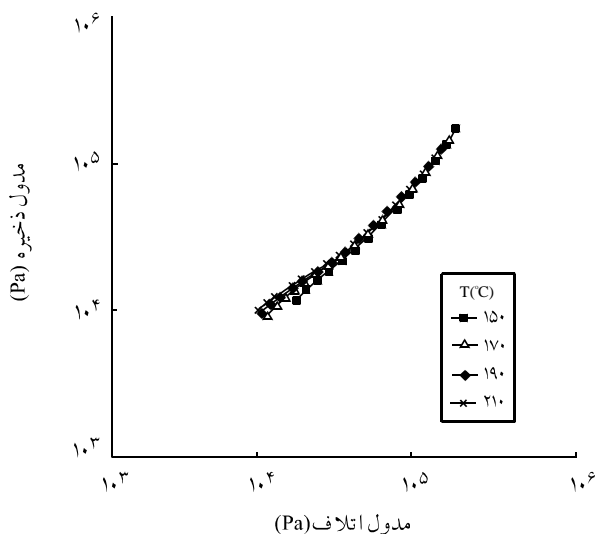


شکل ۴ - لگاریتم مدول ذخیره بر حسب لگاریتم مدول اتلاف برای پلی اتیلن پرشده با مقادیر مختلف دوده در دمای ۱۷۰°C.

ماکسیممی در منحنی ضریب اتلاف بر حسب فرکانس بدست می آید. این نقطه جایی است که مقدار مدول ذخیره نسبت به مدول اتلاف دارای کمترین مقدار است و در واقع یک ناحیه انتقال از حالت سیال به حالت کشسان است. ضریب اتلاف، نسبت مدول اتلاف به مدول ذخیره است. مدول اتلاف به شبکه های دوده، که طی تغییر شکلهای دینامیکی ثابت می ماند، ارتباط دارد و مدول ذخیره نیز به شکسته شدن این شبکه ها و تشکیل دوباره شبکه های جدید ارتباط می یابد [۷]. به بیان ساده تر،



شکل ۵ - تغییرات مدول ذخیره بر حسب فرکانس زاویه ای برای پلی اتیلن پرشده با ۲۰ درصد دوده در دماهای مختلف.

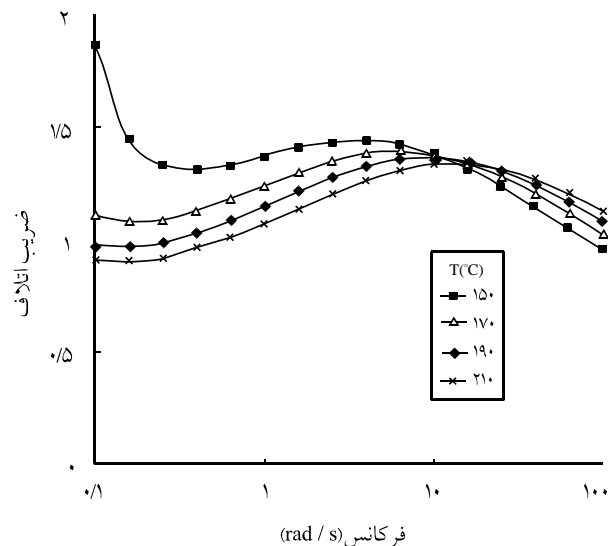


شکل ۸ - لگاریتم مدول ذخیره بر حسب لگاریتم مدول اتلاف برای پلی اتیلن پر شده با ۲۰ درصد دوده در دماهای مختلف.

شکل ۸ منحنی تغییرات لگاریتم مدول ذخیره بر حسب لگاریتم مدول اتلاف را برای پلی اتیلن پر شده با ۲۰ درصد دوده در دماهای مختلف نشان می دهد. از این شکل پیداست که با افزایش مدول ذخیره نیز زیاد می شود و این آهنگ افزایش در دماهای مختلف یکسان است. بنابراین، تغییرات دما اثر محسوسی روی این دسته از منحنی های Cole-Cole ندارد. به عبارتی، تغییرات لگاریتم مدول ذخیره بر حسب لگاریتم مدول اتلاف بیشتر به ساختار داخلی پلیمر پر شده بستگی دارد.

اثر ساختار دوده

شکل ۹ اثر نوع دوده بر مدول ذخیره پلی اتیلن پر شده با ۲۰ درصد دوده را در دمای ۱۷۰°C نشان می دهد. مشاهده می شود که برای دو نوع مختلف دوده در فرکانسهای کم مقادیر مدول ذخیره اختلاف بیشتری دارند، در حالی که در فرکانسهای زیاد این اختلاف کمتر می شود. BET مقدار سطح به ازای واحد جرم دوده است که نشان دهنده سطح پوشش دهی آن است. این مقدار بر اساس استاندارد ASTM D ۳۰۳۷ معین می شود. BET دوده نوع XE-CB از BET دوده نوع HI-CB بیشتر است. بنابراین، برهم کنش بین پلیمر و دوده نوع XE-CB از برهم کنش بین پلیمر و دوده نوع HI-CB بیشتر است و به همین دلیل مدول ذخیره و گرانیوی پلی اتیلن پر شده با دوده نوع XE-CB بیشتر است. مقدار DBP دوده نیز نشان دهنده میزان جذب دی بوتیل فتالات (حجمی) روی ۱۰۰ g دوده و معرف ساختار آن است. BET دوده XE-CB نسبت به دوده HI-CB بیشتر است، یعنی دوده XE-CB دارای ساختار

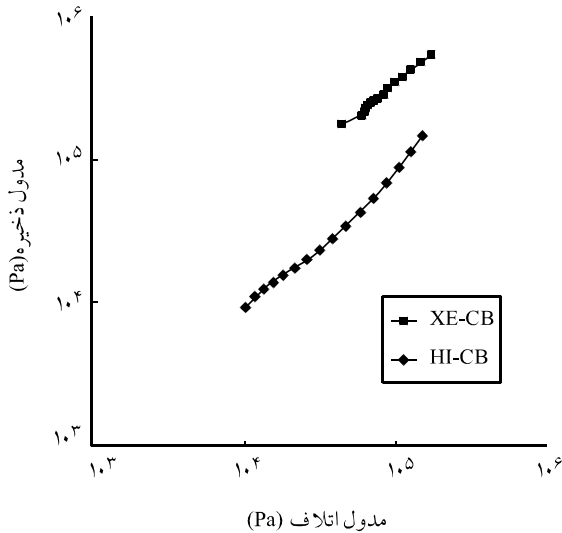


شکل ۷ - تغییرات ضریب اتلاف بر حسب فرکانس زاویه ای برای پلی اتیلن پر شده با ۲۰ درصد دوده در دماهای مختلف.

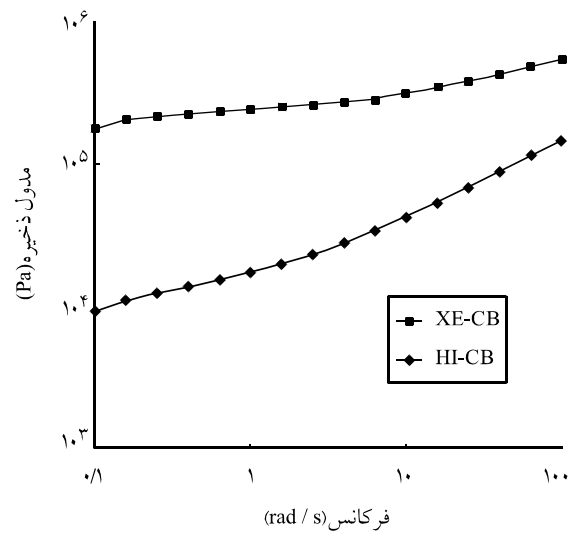
کاهش در فرکانسهای زیاد بیشتر خواهد بود. چنین رفتاری برای درصدهای مختلف دوده مشاهده شده که برای اختصار منحنی های مربوط به آنها گزارش نشده است.

شکل ۶ اثر تغییرات دما بر مدول اتلاف را برای پلی اتیلن پر شده با ۲۰ درصد دوده نشان می دهد. همان طور که از شکل پیداست، مدول اتلاف با افزایش دما کاهش می یابد و این کاهش در فرکانسهای کم در مقایسه با مدول ذخیره مشهودتر است. بنابراین، می توان گفت که مدول اتلاف نسبت به مدول ذخیره در فرکانسهای کم به دما حساستر است.

شکل ۷ منحنی تغییرات ضریب اتلاف بر حسب فرکانس زاویه ای را برای پلی اتیلن پر شده با ۲۰ درصد دوده در دماهای مختلف نشان می دهد. از نتایج معلوم می شود که با افزایش دما تا فرکانسی مشخص، که در اینجا فرکانس بحرانی خوانده می شود، ضریب اتلاف کاهش می یابد، ولی پس از این فرکانس رفتار عکس می شود. به عبارت دیگر، در فرکانس بالاتر از فرکانس بحرانی با افزایش دما بخش گرانیوی بر بخش کشسان غالب می گردد که این امر به دلیل تحرک پذیری زیاد زنجیرهای پلیمری و گرانیوی کم آنها در دمای بالاست. ولی، رفتار معکوس در فرکانسی کمتر از فرکانس بحرانی را شاید بتوان به نحوه تجمع ذرات دوده در داخل پلیمر پایه نسبت داد. زیرا، در فرکانسهای کم مدول ذخیره تغییرات محسوسی با دما نخواهد داشت. به عبارتی، بخش کشسان سیستم در فرکانسهای کم در اثر تغییرات دما تغییر نمی کند، ولی مدول اتلاف که معرف بخش گرانیوی سیستم است، با افزایش دما کاهش می یابد. بنابراین، در فرکانسهای کم با افزایش دما، سهم بخش گرانیوی کمتر از سهم بخش کشسان است و در نتیجه ضریب اتلاف کاهش می یابد.



شکل ۱۱ - لگاریتم مدول ذخیره بر حسب لگاریتم مدول اتلاف برای پلی اتیلن پرشده با ۲۰ درصد از انواع مختلف دوده در دمای 170°C .

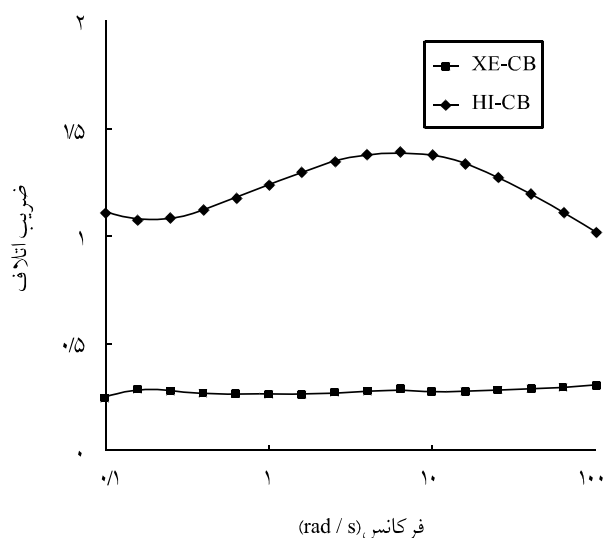


شکل ۹- اثر انواع مختلف دوده بر مدول ذخیره برای پلی اتیلن پرشده با ۲۰ درصد دوده در دمای 170°C .

را می توان اختلاف زیاد بین DBP و BET دو نوع دوده دانست که اثر اندازه ذرات را تحت تأثیر قرار داده است. باید توجه داشت که مقادیر زیاد BET و DBP دوده XE-CB را می توان به تخلخل زیاد ذرات دوده XE-CB نسبت داد [۲۰].

شکل ۱۰ اثر نوع دوده را بر ضریب اتلاف برای پلی اتیلن پرشده با ۲۰ درصد دوده در دمای 170°C نشان می دهد. همان طور که انتظار می رود، برای پلی اتیلن پرشده با دوده XE-CB مقدار ضریب اتلاف کمتر است، زیرا در مقادیر یکسان دوده، نوع XE-CB اثر بیشتری بر خواص کشسانی سیستم دارد که در نتیجه ضریب اتلاف آن کمتر می شود. البته، شاید بتوان این اختلاف زیاد بین ضرایب اتلاف را به اختلاف زیاد بین ساختارهای دو نوع دوده نیز نسبت داد. به عبارت دیگر، وقتی از دوده نوع XE-CB استفاده می شود، چون سطح مخصوص آن زیاد است در شرایط یکسان، توزیع این دوده در مذاب پلی اتیلن بهتر است. بنابراین، خواص کشسانی آن بر خواص گرانیو غالب شده و در نتیجه مدول ذخیره آن از مدول اتلاف بیشتر می شود. در حالی که وقتی از دوده HI-CB استفاده می شود، به دلیل کمتر بودن سطح مخصوص، توزیع آن در پلی اتیلن مذاب مناسب نبوده و خواص گرانیو آن بر خواص کشسانی غالب شده که در نتیجه مدول ذخیره از مدول اتلاف کمتر می شود. بنابراین، اختلاف زیادی در منحنی های ضرایب اتلاف حاصل می گردد. توجه به این نکته ضروری است که برای پلی اتیلن پرشده با دوده نوع XE-CB ضریب اتلاف کوچکتر از یک است، در حالی که برای پلی اتیلن پرشده با دوده نوع HI-CB ضریب اتلاف بزرگتر از یک است.

بهتری است و اثر بیشتری بر خواص کشسانی سیستم دارد. به بیان ساده تر، هر چقدر BET و DBP دوده بیشتر باشد، خواص کشسانی سیستم پلی اتیلن پرشده با دوده تقویت می شود و از این رو مدول ذخیره افزایش می یابد. همان طور که از جدول ۱ پیداست مقدار متوسط اندازه ذرات دوده XE-CB بزرگتر از مقدار آن برای دوده HI-CB است و انتظار می رود که میزان توزیع دوده HI-CB در پلی اتیلن بهتر از دوده XE-CB باشد، در حالی که رفتار عکس مشاهده می شود. علت این امر



شکل ۱۰- اثر انواع مختلف دوده بر ضریب اتلاف برای پلی اتیلن پرشده با ۲۰ درصد دوده در دمای 170°C .

مدولهای ذخیره و اتلاف افزایش و ضریب اتلاف کاهش می یابد. برای درصدهای زیاد دوده ماکسیمم در منحنی ضریب اتلاف برحسب فرکانس زاویه ای دیده می شود. منحنی لگاریتم مدول ذخیره برحسب لگاریتم مدول اتلاف برای پلی اتیلن بدون دوده و پلی اتیلن پرشده با مقادیر اندک دوده خطی است، که شیب این خط کمتر از دو است. ولی، با افزایش مقدار دوده این حالت خطی از بین می رود. اثر دما بر رفتار رئولوژیکی پلی اتیلن پرشده با دوده نیز بررسی شده و نتایج نشان می دهد که با افزایش دما هر دو مدول ذخیره و اتلاف کاهش می یابد و این کاهش در مدول ذخیره در فرکانسهای زیاد بیشتر خواهد بود. همچنین، با تغییر دما رفتار جالبی برای ضریب اتلاف مشاهده می شود، بدین معنی که با افزایش دما تا فرکانسی مشخص، ضریب اتلاف کاهش و پس از آن افزایش می یابد. مطالعه اثر نوع دوده بر رفتار رئولوژیکی پلی اتیلن پرشده با دوده نشان می دهد که دوده با ساختار بهتر و میزان پوشش دهی سطحی بیشتر اثر زیادتری بر خواص کشسانی سیستمهای پرشده پلیمری خواهد داشت.

مراجع

- Blythe A.R., *Electrical Properties of Polymers*, Cambridge University, London, 1-14, 1979.
- Appello M., Characterization of Dispersion of Carbon Black in High Density Polyethylene Using Dielectric Measurements, *Plast. Rubber Comp.*, **29**, 207-211, 2000.
- Choi S.S., Nah Ch., Lee S.G. and Joo Ch.W., Effect of Filler-filler Interaction on the Rheological Behavior of Natural Rubber Compounds Filled with Both Carbon Black and Silica, *Polym. Int.*, **52**, 23-28, 2003.
- Roland C.M., Dynamic Mechanical Behavior of Filled Rubber at Small Strains, *J. Rheol.*, **34**, 25-34, 1990.
- Masuda T., Kitamura M. and Onogi S., Rheology of Two-phase System Composed of Polystyrene and Polybutadiene. IV. Rubbery Plateau Modulus of Composite Systems of Polyethylene-Polybutadiene Particles, *J. Rheol.*, **25**, 453-458, 1981.
- Zhang J.F., Zheng Q., Yang Y.Q. and Yi X.S., High-Density Polyethylene/Carbon Black Conductive Composites. I. Effect of CB Structure Modification on Its Resistivity-Temperature Behavior, *J. Appl. Polym. Sci.*, **83**, 3112-3116, 2002.
- Zhang J.F. and Yi X.S., Dynamic Rheological Behavior of High Density Polyethylene Filled with Carbon Black, *J. Appl. Polym. Sci.*, **86**, 3527-3531, 2002.
- Eslami H., Morshedian J. and Khonakdar H.A., Studies on the PTC Effect of Overcurrent Protectors Devices, *Proceeding of 6th Iranian Seminar on Polymer Science and Technology*, 244, Tehran, Iran, 12-15 May, 2003.
- Hou Y.H., Zhang M.Q. and Rong M.Z., Carbon Black-filled Polyolefins as Positive Temperature Coefficient Materials: The Effect of *In situ* Grafting during Melt Compounding, *J. Polym. Sci., Polym. Phys. Ed.*, **41**, 127-134, 2003.
- Yi X.S., Wu G. and Ma D., Property Balancing for Polyethylene-based Carbon Black-filled Conductive Composites, *J. Appl. Polym. Sci.*, **67**, 131-138, 1998.
- Yi X.S., Zhang J.F., Zheng Q. and Pan Y., Influence of Irradiation Conditions on the Electrical Behaviour of Polyethylene-carbon Black Conductive Composites, *J. Appl. Polym. Sci.*, **77**, 494-499, 2000.
- Yacobowicz J. and Narkis M., Electrical and Dielectric Properties of Segregated Carbon Black-polyethylene Systems, *Polym. Eng. Sci.*, **30**, 459-468, 1990.
- Polymer Blends and Alloys*, Folkes M.J. and Hope P.S. (Eds.), Chapman and Hall, 75-101, 1993.
- Takahashi M., Li L. and Masuda T., Nonlinear Viscoelasticity of ABS Polymers in the Molten State, *J. Rheol.*, **33**, 709-723, 1989.
- Harrell E. R. and Nakajima N., Modified Cole-Cole Plot Based on Viscoelastic Properties for Characterizing Molecular Architecture of Elastomers, *J. Appl. Polym. Sci.*, **29**, 995-1010, 1984.
- Kwag H., Rana D., Cho K., Rhee J., Woo T., Lee B.H. and Choe

نتیجه گیری

در این پژوهش، رفتار رئولوژیکی پلی اتیلن سنگین پرشده با مقادیر و انواع مختلف دوده بررسی و مشاهده شده است که با افزایش مقدار دوده

- S., Binary Blends of Metallocene Polyethylene with Conventional Polyolefins : Rheological and Morphological Properties, *Polym. Eng. Sci.*, **40**, 1672-1681, 2000.
17. Guimaraes M.J.O.C., Coutinho F.M.B., Rocha M.C.G., Farah M. and Bretas R.E.S., Rheological and Morphological Properties of High Density Polyethylene and Poly(ethylene-octane) Blends, *J. Appl. Polym. Sci.*, **86**, 2240-2246, 2002.
18. Shumsky V.F., Getmanchuk I.P., Davydenko V.V., Lipatov Y.S., Cassagnau Ph., Boiteux G. and Melis F., Viscoelastic Behavior of Chlorinated Polyethylene/Poly(ethylene-co-vinyl acetate) Blends in the Melt State, *J. Appl. Polym. Sci.*, **88**, 1911-1918, 2003.
19. Honerkamp J. and Weese J., Determination of the Relaxation Spectrum by a Regularization Method, *Macromolecules*, **22**, 4372-4377, 1989.
20. Bigg D.M., An Investigation of the Effect of Carbon Black Structure, Polymer Morphology, and Processing History on the Electrical Conductivity of Carbon Black Filled Thermoplastics, *J. Rheol.*, **28**, 501-516, 1984.