

بررسی تأثیر نوع و مقدار ماده فومزای شیمیایی بر خواص مکانیکی دینامیکی چندسازه حاصل از پلی اتیلن سنگین – الیاف کتان

چکیده

این پژوهش با هدف ارزیابی تأثیر نوع و مقدار ماده فومزای شیمیایی بر خواص مکانیکی دینامیکی چندسازه حاصل از پلی اتیلن سنگین – الیاف کتان انجام شد. چندسازه‌ها با استفاده از فرایند اختلاط در یک مخلوطکن داخلی تهیه و سپس به روش تک مرحله‌ای (Batch) فوم شدند. دو نوع ماده فومزای شیمیایی شامل آزو دی کربن آمید و بی کربنات سدیم در سه سطوح ۲، ۴ و ۶ phr مورد استفاده قرار گرفت. مقدار الیاف کتان و سازگار کننده در تمام تیمارها به ترتیب ۶۰ درصد و ۲ phr ثابت در نظر گرفته شد. آزمون‌های استاتیک شامل خمش و کشش بر روی نمونه‌ها انجام گرفت. خواص مکانیکی دینامیکی چندسازه‌ها شامل مدول ذخیره، مدول اتلاف و فاکتور اتلاف مورد مطالعه قرار گرفت. ریخت‌شناسی نمونه‌ها نیز با عکس‌برداری توسط میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد که ماده فومزای شیمیایی باعث افزایش اندازه سلول و کاهش دانسیته سلول و خواص مکانیکی چندسازه‌ها می‌شود. از طرفی، کمترین میزان استحکام مکانیکی در چندسازه فوم‌شده با بی کربنات سدیم مشاهده شد. تصاویر SEM مؤید آن است که نوع و مقدار ماده فومزای شیمیایی تأثیر فراوانی بر کاهش دانسیته چندسازه فوم‌شده دارد. با افزایش مقدار ماده فومزای شیمیایی، مدول ذخیره و مدول اتلاف نمونه‌ها کاهش یافت. درحالی‌که فاکتور اتلاف با افزودن ماده فومزای شیمیایی به چندسازه افزایش می‌یابد. چندسازه‌های فوم‌شده با آزو دی کربن آمید در مقایسه با بی کربنات سدیم، مدول ذخیره بالاتری را نشان داد.

واژگان کلیدی: چندسازه فوم‌شده، آزو دی کربن آمید، بی کربنات سدیم، اندازه سلول، مدول ذخیره.

بهبود کرد^۱ بهزاد کرد^{۲*}

^۱ باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان، واحد ملایر، دانشگاه آزاد اسلامی، ملایر، ایران

^۲ استادیار علوم و صنایع چوب و کاغذ، گروه سلولزی و بسته‌بندی، پژوهشکده شیمی و پتروشیمی، پژوهشگاه استاندارد، کرج، ایران

مسئول مکاتبات:

b.kord@standard.ac.ir

تاریخ دریافت: ۹۴/۰۲/۲۰

تاریخ پذیرش: ۹۴/۰۶/۱۵

جذب انرژی، کاربردهای زیادی را به خود اختصاص داده‌اند [۱]. از این‌رو، در سال‌های اخیر فرایند فوم کردن چندسازه‌های پلیمری تقویت‌شده با الیاف طبیعی، به دلیل ایجاد مزایایی نظیر کاهش وزن، کاهش هزینه و بهبود استحکام به ضربه کاربرد آن‌ها افزایش داده است [۲].

مقدمه

امروزه فوم‌های پلیمری تقویت‌شده به دلیل گستره وسیعی از خواص نظیر چگالی کم، پایداری ابعاد، سفتی، مقاومت شیمیایی، نسبت عالی استحکام به وزن، قابلیت بازیافت مجدد، عایق مناسب در برابر گرمای و کارایی

کردند که شرایط فراورش نظیر سرعت، دما، فشار فرآیندی بر عملکرد عامل فومزا تأثیرگذار است. همچنین دریافتند که با افزودن ماده فومزا دانسیته کاهش می‌یابد. تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی نیز مؤید این مطلب بود که ماده فومزا باعث ایجاد تخلخل در ساختار سلولی چندسازه می‌گردد [۷]. Faruk و Bledzki (۲۰۰۶) در تحقیقی تأثیر عوامل فومزا بر ویژگی‌های ریزساختاری و مکانیکی چندسازه پلی‌پروپیلن-الیاف سلولزی را مورد بررسی قرار دادند. تصاویر حاصله از میکروسکوپ الکترونی روبشی نشان داد که ماده فومزای گرمزا عملکرد مناسب‌تری را بر اندازه، قطر و فاصله سلول‌ها در مقایسه با ماده فومزای گرماگیر ایجاد می‌کند. همچنین دریافتند که با افزودن ماده فومزای گرمزا، دانسیته چندسازه به میزان ۳۰ درصد کاهش یافته و به ۰/۷۱ گرم بر سانتی‌متر مکعب می‌رسد [۸]. Faruk و Matuana (۲۰۱۰) به بررسی تأثیر شرایط اشباع گاز حاصل از ماده فومزا بر انبساط سلولی چندسازه پلی‌لاکتیک اسید-آرد چوب پرداختند. آن‌ها اظهار داشتند که نسبت انبساط سلولی و تخلخل در ساختار چندسازه به نوع، مقدار و شرایط فوم کردن بستگی دارد. همچنین گزارش کردند که افزودن آرد چوب به ماده زمینه پلیمری، تأثیر قابل توجهی بر نسبت انبساط سلولی چندسازه فوم‌شده دارد [۹]. Pourabbasi و Kord (۲۰۱۱) با مطالعه ویژگی‌های فیزیکی، مکانیکی و مورفولوژیکی چندسازه سبک شده هیبریدی پلی‌اتیلن سنگین/اتیلن وینیل استات/آرد چوب نتیجه‌گیری کردند که با افزودن عامل فومزا و اتیلن وینیل استات ویژگی‌های مکانیکی و دانسیته چندسازه کاهش می‌یابد [۱۰].

اگرچه مطالعات گسترده‌ای در زمینه خواص فیزیکی و مکانیکی چندسازه چوب پلاستیک فوم‌شده انجام گرفته است، با این وجود اطلاعات کافی در مورد تأثیر عوامل فوم-زای شیمیایی بر خواص دینامیکی مکانیکی چندسازه پلیمری تقویت‌شده با الیاف طبیعی وجود ندارد. از این رو، در این پژوهش سعی بر آن است که تأثیر نوع و مقدار ماده فومزای شیمیایی بر خواص مکانیکی دینامیکی چندسازه حاصل از پلی‌اتیلن سنگین - الیاف کتان مورد مطالعه قرار گیرد.

برای تولید چندسازه چوب پلاستیک فوم‌شده می‌توان از عوامل فومزای فیزیکی^۱ و شیمیایی^۲ استفاده نمود. عوامل فومزای فیزیکی ترکیباتی هستند که در نتیجه فرایندهای فیزیکی (تبخیر و دفع) در دماهای بالا یا فشارهای پایین، گاز آزاد می‌کنند. این عوامل در طی فرآیند از یک شکل به شکل دیگر مثلاً از حالت مایع به گاز تغییر می‌کنند که این تغییر صرفاً فیزیکی است. از عوامل فومزای فیزیکی می‌توان به گازهای فشرده‌شده‌ای مانند نیتروژن و دی‌اکسید کربن و یا مایعات فرار مانند هیدروکربن‌های آلیفاتیک فلورینه‌شده اشاره کرد. برای استفاده از گازهای فشرده‌شده باید فشار بر روی مذاب پلیمری آن قدر زیاد باشد تا گاز باقی‌مانده در پلیمر حل شود و پس از برداشتن فشار، فرآیند تولید فوم اتفاق بیفتد. عوامل فومزای شیمیایی معمولاً ترکیبات جامد (پودری شکل) هستند که در دمای فرآیند تجزیه‌شده و سبب تولید گاز (نظیر دی‌اکسید کربن و یا نیتروژن) و ایجاد ساختار سلولی می‌شوند. مواد آلی و معدنی جامد نظیر آزو دی کربن آمید و بی‌کربنات سدیم از جمله عوامل فومزای شیمیایی مورد استفاده در صنعت چندسازه‌ها به شمار می‌آیند. مزیت اصلی استفاده از عوامل فومزای شیمیایی در تولید چندسازه چوب پلاستیک فوم‌شده، راحتی کار با آن است؛ و از سایر مزایای این مواد می‌توان به کنترل فرآیندی و اثرات هسته‌زایی برای حل مشکل جذب رطوبت و بهبود ویژگی‌های مکانیکی اشاره کرد. به‌طور کلی، عوامل فومزای شیمیایی بر اساس واکنش آنتالپی به دو گروه عوامل فومزای گرمزا^۳ و گرماگیر^۴ تقسیم می‌شوند. این واکنش می‌تواند با جذب انرژی (گرماگیر) یا آزاد کردن انرژی (گرمزا) گاز تولید کند. همچنین امروزه از ترکیب عوامل فومزای شیمیایی گرمزا و گرماگیر برای تولید چندسازه فوم‌شده استفاده می‌شود [۳-۶].

Bledzki و همکاران (۲۰۰۵) فوم کردن چندسازه‌های پلیمری تقویت‌شده با استفاده از الیاف چوب و کنف را به روش قالب‌گیری تزریقی مورد ارزیابی قرار دادند و بیان

1. Physical Foaming Agents (PBAs)
2. Chemical Foaming Agents (CBAs)
3. Exothermic Foaming Agent
4. Endothermic Foaming Agent

مواد و روش‌ها

مواد

در این تحقیق از پلی‌اتیلن سنگین (کد ۵۶۲۰)، تولیدشده توسط شرکت پتروشیمی اراک با شاخص جریان مذاب ۲۰ گرم در ده دقیقه و چگالی ۰/۹۵۶ گرم بر سانتی‌متر مکعب به‌عنوان ماده پلیمری، از مالئیک انیدرید پیوند شده با پلی‌اتیلن (PE-g-MA) از محصولات شرکت بلژیکی Solvay با شاخص جریان مذاب ۷ گرم در ده دقیقه و چگالی ۰/۹۶۵ g/cm³ گرم بر سانتی‌متر مکعب به‌عنوان عامل سازگار کننده و الیاف کتان تهیه‌شده از شرکت آریا سلولز به‌عنوان ماده پرکننده استفاده گردید. آزو دی کربن آمید (C₂H₄O₂N₄) ساخت شرکت Yang Chang Co. کشور چین با دمای تجزیه ۲۱۰-۲۰۰ درجه سانتی‌گراد به‌عنوان ماده فومزای گرمازا و بی‌کربنات سدیم (NaHCO₃) تهیه‌شده از شرکت آلمانی مرک با دمای تجزیه ۲۶۰ درجه سانتی‌گراد به‌عنوان ماده فومزای گرماگیر استفاده شد. همچنین از اکسید روی (ZnO) از محصولات شرکت Ajax Chemical Co. کشور هلند به‌عنوان فعال کننده و برای کاهش دمای تجزیه ماده فومزا و رساندن دمای آن به حدود ۱۷۰ درجه سانتی‌گراد و از اسید استتاریک (C₁₈H₃₆O₂) بانام تجاری Palmac تهیه‌شده از کشور مالزی به‌عنوان روان کننده خارجی برای بهبود فرایند اختلاط استفاده شد.

روش‌ها

فرایند اختلاط و ساخت نمونه

پس از تهیه مواد اولیه و قبل از ساخت نمونه‌ها، ابتدا الیاف کتان به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد داخل گرمخانه قرار گرفت تا جهت ساخت نمونه، کاملاً خشک گردد. سپس فرایند اختلاط مواد مطابق جدول ۱ توسط دستگاه مخلوط‌کن داخلی^۵ (مدل HBI System 90 ساخت شرکت آمریکایی Haake Buchler) با دمای اختلاط ۱۴۰ درجه سانتی‌گراد و سرعت اختلاط ۶۰ دور در دقیقه انجام شد. با توجه به منحنی گشتاور- زمان نمایش داده‌شده بر روی مانیتور دستگاه مخلوط‌کن، ابتدا پلی‌اتیلن سنگین و اسید

استتاریک به داخل محفظه دستگاه ریخته شد، پس از ۲ دقیقه ذوب شدن و رسیدن به گشتاور ثابت، ماده سازگار کننده اضافه شد و پس از گذشت ۳ دقیقه، الیاف کتان به درون محفظه ریخته شد و با گذشت ۵ دقیقه دیگر از افزودن الیاف، ماده فومزا و اکسید روی هم‌زمان به مخلوط اضافه و تا رسیدن به گشتاور ثابت، عملیات اختلاط به‌طور مستمر انجام شد. با پایان یافتن ۱۵ دقیقه از شروع اختلاط، دستگاه متوقف و مخلوط از درون مخلوط‌کن خارج گردید. پس از اختلاط مواد، چندسازه بی‌شکل تولیدشده پس از سرد شدن دوباره آسیاب شده و به دستگاه پرس (مدل Davenport ساخت کشور انگلیس) مجهز به المان‌های حرارتی برای گرمایش و سامانه گردش آب برای سرمایش منتقل شد. در این مرحله، گرانول‌ها درون قالب با ابعاد مشخص ریخته و بین دو ورق کاغذ سلولزی قرار داده شد تا به صفحه‌های پرس نچسبد و در دستگاه پرس با دمای ۱۸۰ درجه سانتی‌گراد و فشار ۵۰ بار به مدت ۱۵ دقیقه قرار داده شد. پس از پایان این مدت‌زمان، سامانه گرمایش پرس خاموش شد و نمونه در اثر عبور آب سرد، به مدت ۳ دقیقه خنک شده و سپس با برداشتن فشار، نمونه از درون پرس خارج شد. پس از عملیات پرس و به‌منظور تهیه نمونه‌های آزمونی، تمامی تخته‌ها با استفاده از اره گرد رومی‌زی کناره‌بری شده و درنهایت چهار طرف آن سنباده‌زنی شد.

آزمون مکانیکی

آزمون خمش مطابق روش سه‌نقطه‌ای تعریف‌شده در استاندارد ASTM آیین‌نامه D 790 توسط دستگاه تست مکانیکی (اینسترون مدل ۱۱۸۶) با نرخ کرنش ۰/۰۱ میلی‌متر و سرعت بارگذاری ۵ میلی‌متر بر دقیقه انجام شد. ابعاد اسمی نمونه‌ها ۵ × ۱۳ × ۱۰۰ میلی‌متر و طول دهانه ۸۰ میلی‌متر بوده است. همچنین آزمون کشش مطابق استاندارد ASTM D 638 بر روی نمونه‌های دمبلی شکل با ابعاد ۳ × ۱۰ × ۱۶۷ میلی‌متر توسط دستگاه تست مکانیکی (اینسترون مدل ۱۱۸۶) انجام شد. در آزمون کشش طول دهانه ۱۰۰ میلی‌متر و سرعت بارگذاری ۲ میلی‌متر بر دقیقه در نظر گرفته شد. برای هر تیمار، آزمون‌های خمش و کشش با ۵ تکرار انجام شد.

جدول ۱- درصد وزنی اجزای تشکیل دهنده ترکیب تیمارهای مورد مطالعه

شماره تیمار	نوع ماده فومزا	الیاف کتان (%)	پلی اتیلن (%)	ماده فومزا (phr)	سازگار کننده (phr)
۱	آزو دی کربن آمید	۶۰	۴۰	۰	۲
۲	آزو دی کربن آمید	۶۰	۴۰	۲	۲
۳	آزو دی کربن آمید	۶۰	۴۰	۴	۲
۴	بی کربنات سدیم	۶۰	۴۰	۰	۲
۵	بی کربنات سدیم	۶۰	۴۰	۲	۲
۶	بی کربنات سدیم	۶۰	۴۰	۴	۲

تصاویری با بیش از ۵۰ سلول و با استفاده از رابطه زیر محاسبه شد [۱۲].

$$Nc \approx \frac{10^4 [1 - \frac{\rho_f}{\rho_p}]}{d^3} \quad \text{رابطه (۱)}$$

که در آن Nc تعداد سلولها در هر مترمکعب نمونه فوم شده، ρ_f دانسیته فوم پس از فوم شدن برحسب برحسب گرم بر سانتی متر مکعب، ρ_p دانسیته فوم قبل از فوم شدن برحسب برحسب گرم بر سانتی متر مکعب و d میانگین اندازه سلول برحسب برحسب میلی متر است.

نتایج به دست آمده از آزمون مکانیکی استاتیک با استفاده از نرم افزار آماری SPSS در قالب طرح تجزیه واریانس یک طرفه در سطح اطمینان ۹۵ درصد مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. در صورت وجود اختلاف معنی دار، مقایسه و گروه بندی میانگینها با استفاده از آزمون دانکن انجام شد.

نتایج و بحث

ریخت شناسی

تأثیر نوع و مقدار ماده فومزای شیمیایی بر اندازه و دانسیته سلول چندسازه پلی اتیلن سنگین-الیاف کتان در جدول ۲ آورده شده است. نتایج نشان داد که با افزایش مقدار ماده فومزا، اندازه سلول در چندسازه فوم شده افزایش و دانسیته سلول کاهش یافته است. از آنجایی که ماده فومزا حباب گذاری در چندسازه را از طریق تولید و آزادسازی گاز ایجاد می کند، لذا انتظار می رود که با

آزمون دینامیک

آزمون گرمایی- مکانیکی- دینامیکی (DMTA) مطابق با استاندارد [۱۱] ASTM E1640 با استفاده از دستگاه Polymer Laboratory مدل ساخت کشور انگلستان موجود در پژوهشگاه پلیمر و پتروشیمی ایران بر روی نمونه ها انجام شد. به منظور انجام آزمون دامنه دمایی ۶۰- تا ۱۵۰+ درجه سانتی گراد با نرخ حرارت دهی ۵ درجه سانتی گراد بر دقیقه و فرکانس ۱ هرتز انتخاب گردید. آزمون در مد خمشی و بر روی نمونه های مستطیلی شکل با ابعاد ۱ × ۱۰ × ۳۰ میلی متر انجام گرفت. از نیتروژن مایع برای رسیدن به دماهای پایین تر از دمای محیط استفاده شد.

ریخت شناسی

مطالعه ریخت شناسی چندسازه های ساخته شده با استفاده از میکروسکوپ الکترونی پویشی (SEM) Philips مدل XL30 ساخت کشور هلند انجام شد. برای انجام این کار ابتدا نمونه ها درون نیتروژن مایع تا زیر دمای منفی ۱۹۶ درجه سانتی گراد برده شده و شکسته شدند، سپس سطح شکست نمونه های آزمونی با لایه نازکی از طلا جهت وضوح بهتر تصویر پوشش داده شد. تمام تصاویر با ولتاژ تسریع شده ۱۵ کیلوولت بررسی شدند. برای اندازه گیری اندازه و دانسیته سلول، تصاویر SEM با استفاده از نرم افزار Microstructure Measurement مورد ارزیابی قرار گرفت. اندازه سلولها به وسیله اندازه گیری مستقیم قطره های سلول و میان گیری از آنها انجام شد. دانسیته سلول که به وسیله تعداد سلولها در واحد حجم تعریف می شود، با انتخاب

کوچک تر و دانسیته بالاتر تولید کرده است. دلیل این مسئله را می توان به میزان گاز تولیدشده در واحد سطح چندسازه نسبت داد [۱-۲، ۸-۹]. میزان گاز نیتروژن تولیدشده از آزو دی کربن آمید مورد استفاده در این پژوهش در حدود ۳۰۰ گرم بر سانتی متر مکعب بوده، در حالی که این میزان برای گاز دی اکسید کربن تولید شده از بی کربنات سدیم در حدود ۴۱۷ گرم بر سانتی متر مکعب است؛ بنابراین بیشترین مقدار اندازه سلول و کمترین مقدار دانسیته سلول مربوط به چندسازه فوم شده با ۴ phr بی کربنات سدیم به ترتیب برابر ۷۷/۲۹ میکرومتر و $۱/۵۶ \times ۱۰^۶$ سلول در سانتی متر مکعب و کمترین مقدار اندازه سلول و بیشترین مقدار دانسیته سلول مربوط به چندسازه فوم شده با ۲ phr آزو دی کربن آمید به ترتیب برابر ۵۳/۶۸ میکرومتر و $۲/۰۴ \times ۱۰^۶$ سلول در سانتی متر مکعب است.

افزایش مقدار ماده فومزا، حفرات گازی بیشتری در فرآیند فوم شدن آزاد شود. در نتیجه در نتیجه هنگامی که غلظت گاز به واسطه پراکنش پیوسته آن در ماده زمینه پلیمری به یک مقدار مشخص برسد، حباب های گازی جدیدی پیرامون ماده فومزا، ایجاد شده و به رشد خود ادامه می دهند و به صورت به صورت حباب های بزرگ تر درآمده و در نتیجه سلول های بزرگ تری با دانسیته سلولی کمتر ایجاد می کنند [۱-۱۰، ۱۲-۱۵]. به عبارتی می توان گفت غلظت بیشتر ماده فومزا به معنی تولید گاز بیشتر در اثر تجزیه حرارتی ماده فومزا است، که در نتیجه در نتیجه تعداد سلول های هسته زایی در واحد حجم و به تبعه تبع آن رشد سلول ها افزایش می یابد. در جدول ۲ مشاهده می شود که نوع ماده فومزا بر اندازه و دانسیته سلول چندسازه اثرگذار است. نتایج نشان می دهد که ماده فومزای آزو دی کربن آمید در مقایسه با بی کربنات سدیم، سلول هایی با ابعاد

جدول ۲- تأثیر نوع و مقدار ماده فومزای شیمیایی بر اندازه و دانسیته سلول چندسازه پلی اتیلن سنگین - الیاف کتان

نوع ماده فومزا	ماده فومزا (phr)	اندازه سلول (میکرومتر)	دانسیته سلول (سلول در سانتی متر مکعب)
آزو دی کربن آمید	۲	۵۳/۶۸	$۲/۰۴ \times ۱۰^۶$
	۴	۶۱/۷۵	$۱/۸۵ \times ۱۰^۶$
بی کربنات سدیم	۲	۶۸/۴۱	$۱/۷۳ \times ۱۰^۶$
	۴	۷۷/۲۹	$۱/۵۶ \times ۱۰^۶$

مکانیکی در چندسازه فوم شده با آزودی کربن آمید بیشتر از بی کربنات سدیم است. روند کاهش خواص مکانیکی در چندسازه پلی اتیلن سنگین - الیاف کتان، با افزودن ماده فومزا را می توان به افزایش غلظت و تراکم حباب های گازی تولید شده نسبت داد. در واقع با افزایش حباب ها، سلول های بزرگ تری در ساختار چندسازه ایجاد می شود که به عنوان نقاط نقص و تمرکز تنش در هنگام وارد آمدن کشش و خمش بر نمونه عمل کرده و میزان انتقال تنش در نقطه شکست را کاهش می دهند [۱۴]. از این رو، کاهش خواص مکانیکی چندسازه فوم شده، ناشی از افزایش اندازه سلول ها و کاهش دانسیته سلولی است [۷-۱۰، ۱۲-۱۴]. از طرف دیگر الیاف طبیعی در فرایند فوم سازی فاز جامد بوده و فوم نمی شوند و گاز نیز در الیاف طبیعی حل

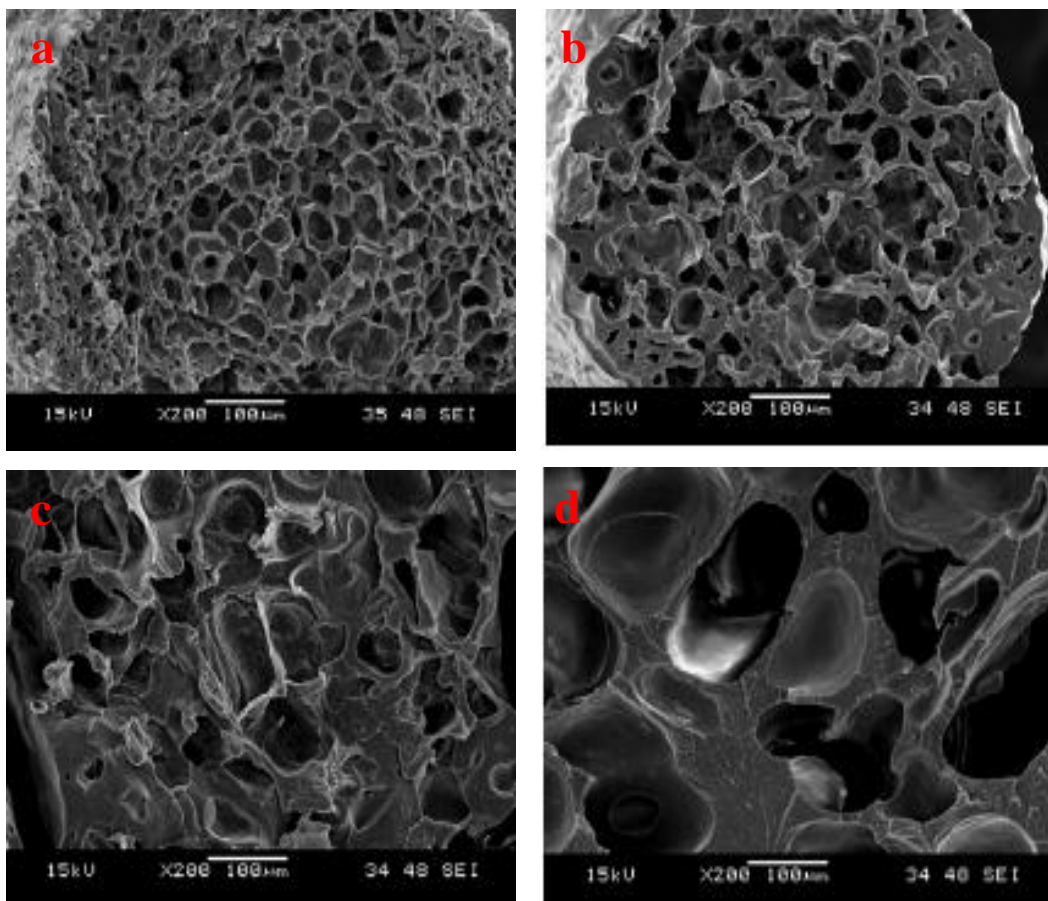
شکل ۱، ریزنگارهای الکترونی SEM در چندسازه فوم شده پلی اتیلن سنگین - الیاف کتان را نشان می دهد. تصاویر حاصل از ریز نگارها بیانگر این مطلب است که اندازه و دانسیته سلول در چندسازه فوم شده به طور قابل توجهی به نوع و مقدار ماده فومزا بستگی دارد.

خواص مکانیکی

نتایج آزمون تجزیه واریانس نشان داد که تأثیر نوع و مقدار ماده فومزای شیمیایی بر ویژگی های مکانیکی چندسازه پلی اتیلن سنگین - الیاف کتان در سطح اطمینان ۹۵٪ معنی دار است. همان طور که در جدول ۳ مشاهده می شود با افزایش مقدار ماده فومزا، استحکام خمشی و کششی چندسازه کاهش می یابد. همچنین مقاومت

کانال‌هایی برای حرکت سریع گاز فراهم کنند که فاصله بین الیاف و پلیمر را افزایش می‌دهند و در نتیجه کیفیت اتصال و به تبع آن استحکام چندسازه کاهش می‌یابد [۱۵].

نمی‌شود و حلالیت گاز تنها محدود به پلیمر می‌شود. بنابراین مناطق بین فازی (سطح مشترک) الیاف طبیعی و پلیمر به خوبی خیس نشده و این مناطق ممکن است



شکل ۱- ریزنگار الکترونی SEM چندسازه فوم شده پلی‌اتیلن سنگین - الیاف کتان (a) ۲phr آزو دی کربن آمید (b) ۴phr آزو دی کربن آمید (c) ۲phr بی‌کربنات سدیم (d) ۴phr بی‌کربنات سدیم

جدول ۳- تأثیر نوع و مقدار ماده فومزای شیمیایی بر ویژگی‌های مکانیکی چندسازه پلی‌اتیلن سنگین - الیاف کتان

مدول کششی (مگاپاسگال)	مقاومت کششی (مگاپاسگال)	مدول خمشی (مگاپاسگال)	مقاومت خمشی (مگاپاسگال)	ماده فومزا (phr)	نوع ماده فومزا
۳۱۷۶/۲۲ ^a	۳۱/۰۹ ^a	۲۰۶۳/۴۵ ^a	۲۴/۳۶ ^a	۰	آزو دی کربن آمید
۲۹۸۳/۵۰ ^b	۲۶/۷۴ ^b	۱۸۸۵/۷۳ ^b	۲۲/۱۵ ^b	۲	
۲۸۶۴/۸۷ ^c	۲۳/۵۲ ^c	۱۷۳۹/۶۶ ^c	۱۹/۸۴ ^c	۴	
۳۱۷۶/۲۲ ^a	۳۱/۰۹ ^a	۲۰۶۳/۴۵ ^a	۲۴/۳۶ ^a	۰	بی‌کربنات سدیم
۲۸۷۱/۳۶ ^b	۲۵/۱۳ ^b	۱۸۱۴/۰۲ ^b	۲۱/۴۹ ^b	۲	
۲۷۷۵/۴۹ ^c	۲۱/۸۶ ^c	۱۶۸۷/۵۳ ^c	۱۹/۰۵ ^c	۴	

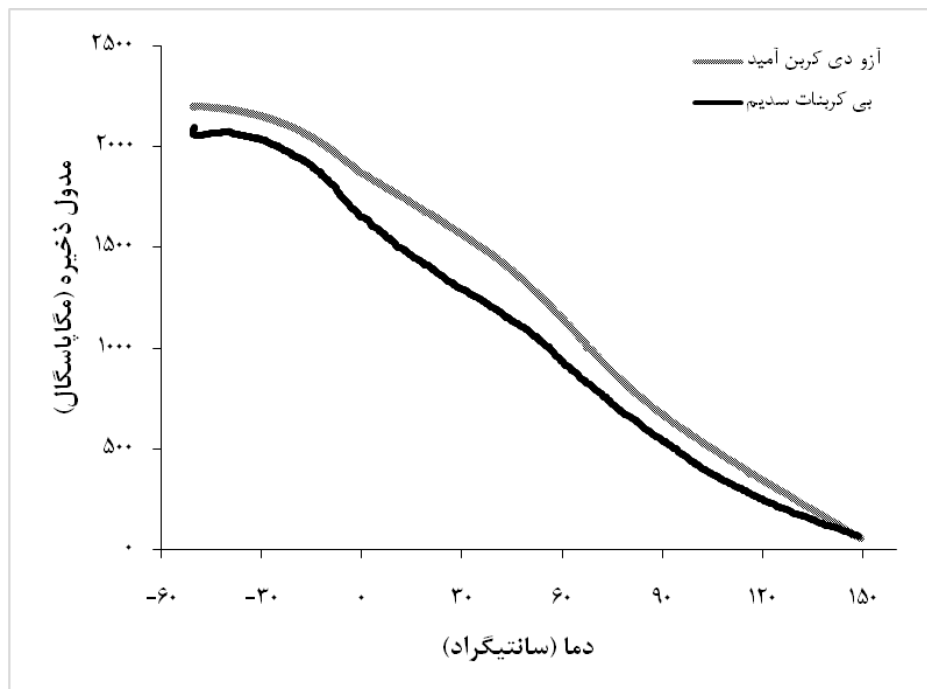
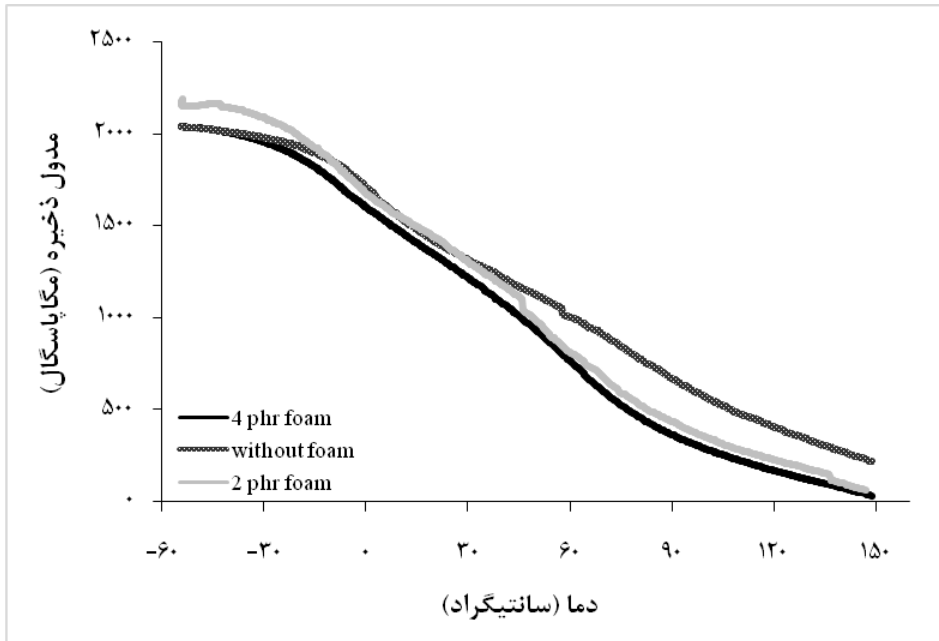
آزمون مکانیکی - دینامیکی

تأثیر نوع و مقدار ماده فومزای شیمیایی بر مدول ذخیره چندسازه پلی اتیلن سنگین - الیاف کتان در شکل ۲ نشان داده شده است. مدول ذخیره معیاری از الاستیک بودن ماده و بیانگر توانایی آن در جذب انرژی است. در ناحیه شیشه‌ای، مدول بر اساس مقاومت نیروهای درون مولکولی و همچنین محدود شدن حرکت زنجیره‌های پلیمری تعیین می‌شود [۱۶-۱۹]. همان‌گونه در شکل ۲ مشاهده می‌شود، در دماهای پایین که ماده زمینه در حالت شیشه‌ای است، تفاوت محسوسی در رفتار چندسازه دیده نمی‌شود. با این وجود در دماهای بالاتر از دمای تبدیل شیشه، نمونه‌های فوم نشده نسبت به نمونه‌های فوم شده مدول ذخیره بالاتری نشان می‌دهند، به طوری که با افزایش مقدار ماده فومزا از مقدار مدول ذخیره چندسازه کاسته می‌شود. این کاهش مدول را می‌توان به چسبندگی ضعیف الیاف و زنجیره پلیمری در منطقه بین فازی نسبت داد که موجب افزایش قابلیت تحرک زنجیره‌های پلیمری ماده زمینه و لغزش آن‌ها در چندسازه فوم شده می‌گردد [۱۶-۲۱]. از طرف دیگر نوع ماده فومزا نیز بر مدول ذخیره چندسازه اثرگذار است، به طوری که چندسازه فوم شده با آزو دی کربن آمید از مدول ذخیره بالاتری نسبت به چندسازه فوم شده با بی کربنات سدیم برخوردار است. دلیل آن احتمالاً ناشی از ساختار متخلخل‌تر چندسازه فوم شده با بی کربنات سدیم است که اجازه نفوذ بیشتر گاز به داخل چندسازه را فراهم می‌سازد، در نتیجه کیفیت چسبندگی در سطح مشترک کاهش یافته و از توانایی چندسازه در جذب انرژی کاسته می‌شود. از طرف دیگر، روند کاهش مدول ذخیره با افزایش دما، در کلیه تیمارها ترکیبات به وضوح دیده می‌شود. دلیل این مسئله آن است که با افزایش دما فضای آزاد بین زنجیره‌های پلیمری و آزادی تحرک آن‌ها افزایش یافته و تحرک موضعی زنجیره‌ها تبدیل به تحرک سرا سری می‌شود. در نتیجه منحنی مدول ذخیره، از حالت صاف و یکنواخت تغییر کرده و به صورت شیب‌دار شروع به کاهش می‌کند، هر چه شیب این افت شدیدتر باشد نرم‌تر شدن پلیمر شدیدتر است [۲۰-۲۱].

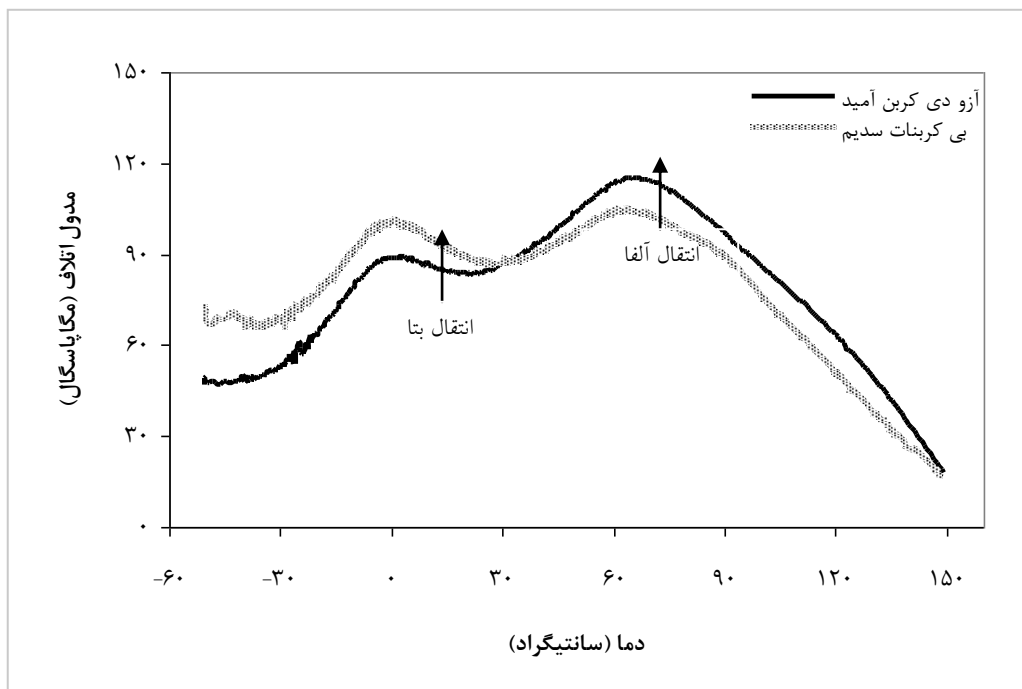
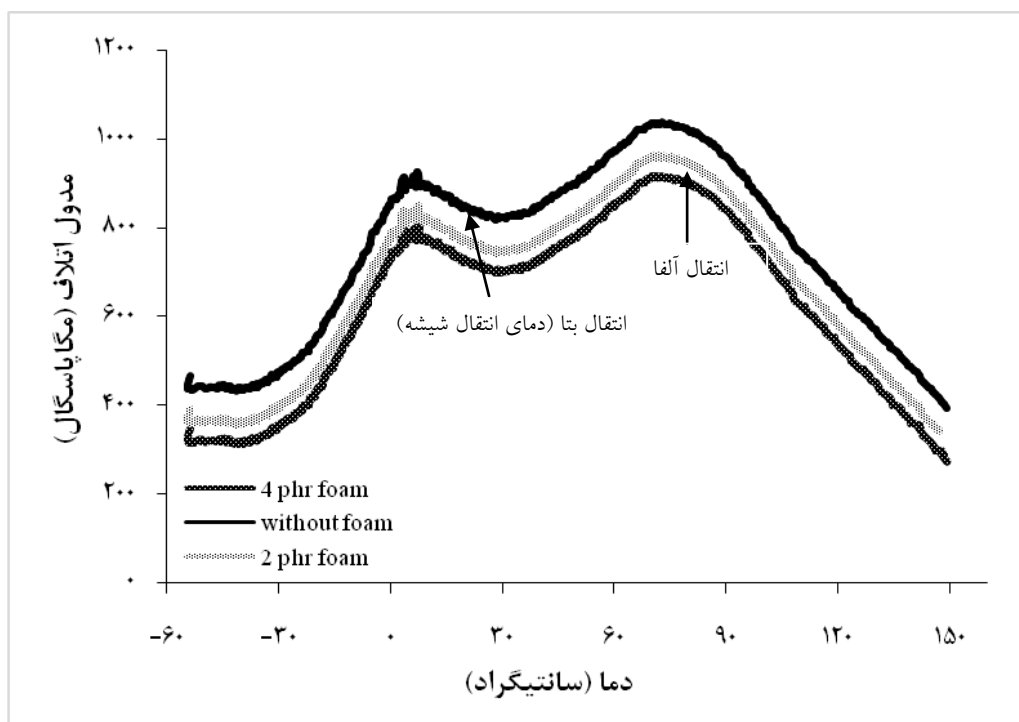
شکل ۳، مدول اتلاف چندسازه‌های فوم شده را به صورت تابعی از دما ارائه می‌دهد. مدول اتلاف معیاری از

ویسکوز بودن ماده و بیانگر انرژی ازدست‌رفته و تلف‌شده در سیستم است [۱۶-۱۹]. در دامنه دمای مورد مطالعه، مرحله انتقال به خوبی دیده می‌شود. این انتقال در محدوده دمایی ۱۰ تا ۱۵ درجه سانتی‌گراد مشاهده می‌شود که به دمای انتقال شیشه‌ای مربوط است. مشاهده می‌شود که حضور ماده فومزا تغییر چندانی در موقعیت پیک منحنی ایجاد نمی‌کند و تنها T_g را به مقدار اندک کاهش می‌دهد. همچنین مشاهده می‌شود که حضور ماده فومزا موجب کاهش ارتفاع پیک منحنی مدول اتلاف چندسازه‌ها شده است. دومین انتقال، انتقال آلفا است که در محدوده دمایی ۶۰ تا ۸۰ درجه سانتی‌گراد دیده می‌شود. این انتقال به استهلاک انرژی زنجیره‌های آمورف و محدوده شده پلیمر ارتباط دارد. با افزودن ماده فومزا به چندسازه، قابلیت تحرک زنجیره‌های پلیمری در نتیجه کاهش کیفیت چسبندگی در منطقه بین فازی افزایش می‌یابد و همین مسئله به تسریع در فرایند انتقال کمک می‌کند. از طرف دیگر نوع ماده فومزا نیز بر مدول اتلاف چندسازه اثرگذار است، به طوری که چندسازه فوم شده با آزو دی کربن آمید از مدول اتلاف بالاتری نسبت به چندسازه فوم شده با بی کربنات سدیم برخوردار است. این مسئله به ساختار متخلخل‌تر و اتصال ضعیف‌تر در منطقه بین فازی این چندسازه ارتباط دارد که امکان اتلاف انرژی بیشتر را در آن فراهم می‌سازد [۱۶-۲۱].

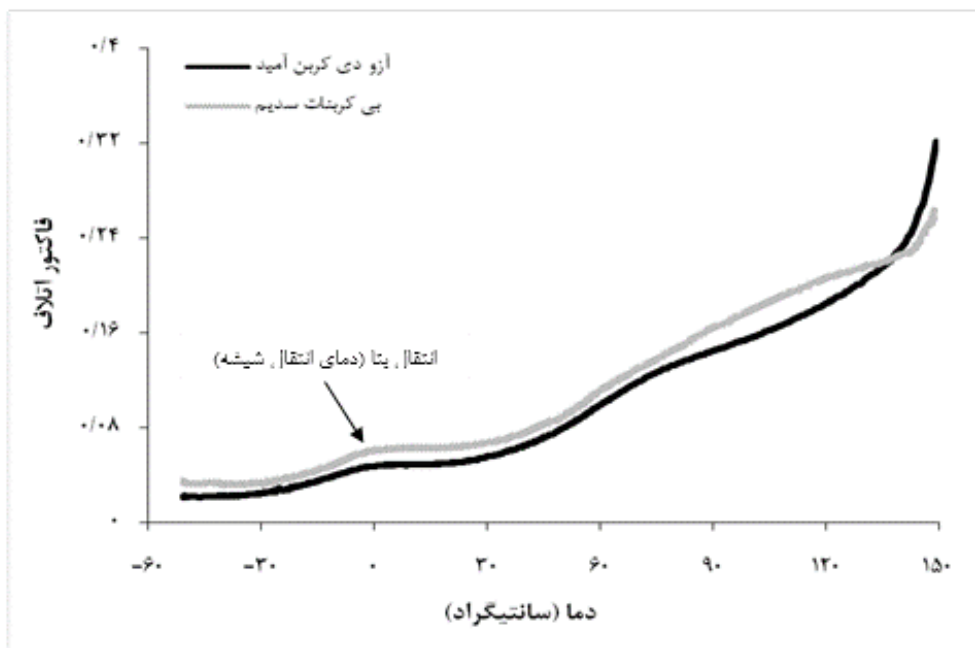
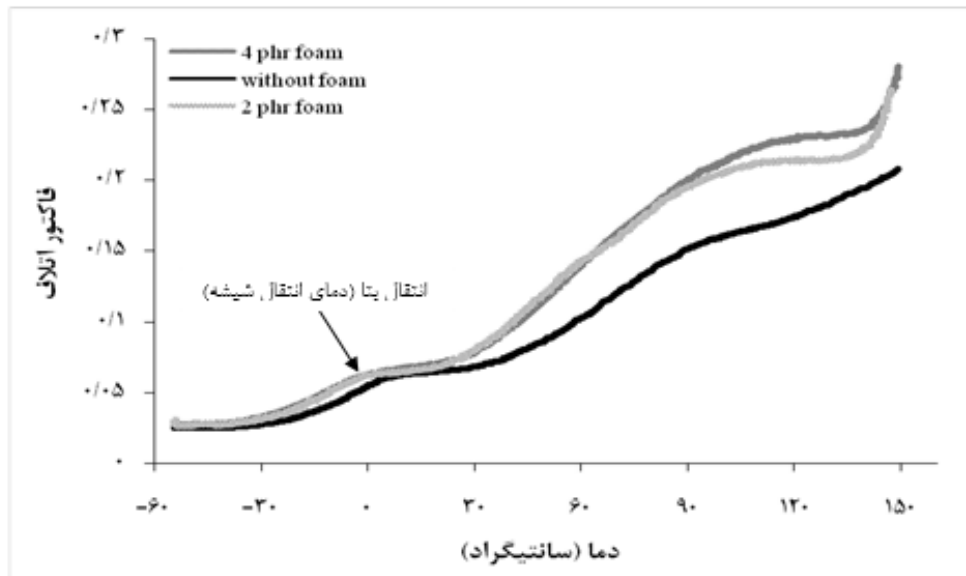
منحنی فاکتور اتلاف (تانژانت دلتا) بر حسب دما برای چندسازه‌های فوم شده در شکل ۴ نشان داده شده است. صعود و نزول منحنی به گذار شیشه - لاستیک ماده زمینه پلیمری مربوط است. یکی از شاخص‌های اندازه‌گیری T_g در آزمون DMA نقطه اوج منحنی فاکتور اتلاف است و نقطه‌ای است که بیشترین اتلاف در آن صورت می‌گیرد. شدت پیک منحنی فاکتور اتلاف عمدتاً به مقدار افت مدول ذخیره در گذار شیشه - لاستیک ماده زمینه بستگی دارد. هر چه مقدار افت مدول در گذار شیشه - لاستیک بیشتر باشد، شدت پیک منحنی بیشتر خواهد بود [۲۲]. همان‌گونه در شکل ۴ مشاهده می‌شود، پیک منحنی تانژانت دلتا در نمونه‌های فوم نشده کمتر از نمونه‌های فوم شده است. دلیل این مسئله را می‌توان به محدود شدن حرکت مولکول‌های پلیمر در چندسازه نسبت داد.



شکل ۲- تأثیر نوع و مقدار ماده فومزای شیمیایی بر مدول ذخیره چندسازه پلی اتیلن سنگین-الیاف کتان



شکل ۳- تأثیر نوع و مقدار ماده فومزای شیمیایی بر مدول اتلاف چندسازه پلی اتیلن سنگین- الیاف کتان



شکل ۴- تأثیر نوع و مقدار ماده فومزای شیمیایی بر فاکتور اتلاف چندسازه پلی اتیلن سنگین- الیاف کتان

می یابد. همچنین، اتلاف انرژی در منطقه بین فازی چندسازه اتفاق می افتد و هر قدر کیفیت اتصال در سطح مشترک بهتر باشد اتلاف انرژی کمتر خواهد بود. از این رو شدت پیک منحنی تانژانت دلتا و اتلاف انرژی در چندسازه فوم نشده به دلیل چسبندگی بهتر در سطح مشترک،

به عبارت دیگر با افزودن ماده فومزا به ماده زمینه پلیمری، به تعداد واحدهای زنجیره پلیمری متحرک شرکت کننده در فرآیند میرایی افزوده خواهد شد. در نتیجه با بیشتر شدن تعداد واحدهای متحرک شرکت کننده در فرآیند میرایی، اندازه سطح زیر پیک منحنی افزایش

۱- نوع و مقدار ماده فومزای شیمیایی تأثیر فراوانی بر ویژگی‌های مکانیکی، ویسکوالاستیک و ریخت‌شناسی دانسیته چندسازه فوم شده دارد.

۲- با افزایش مقدار ماده فومزای شیمیایی، دانسیته سلول، مقاومت خمشی، مقاومت کششی، مدول ذخیره و مدول اتلاف نمونه‌ها کاهش یافت. درحالی‌که اندازه سلول و فاکتور اتلاف با افزودن ماده فومزای شیمیایی به چندسازه افزایش می‌یابد.

۳- چندسازه‌های فوم شده با آزو دی کربن آمید در مقایسه با بی‌کربنات سدیم، استحکام مکانیکی و مدول ذخیره بالاتری را نشان داد.

سیاسگزاری

این مقاله مستخرج از طرح پژوهشی است که با حمایت مالی باشگاه پژوهشگران جوان دانشگاه آزاد اسلامی واحد ملایر انجام شده است. نویسندگان بر خود لازم می‌دانند تا از باشگاه پژوهشگران جوان دانشگاه آزاد اسلامی و معاونت محترم پژوهشی دانشگاه آزاد اسلامی واحد ملایر که در تصویب و اجرای این طرح پژوهشی همکاری نمودند، سپاسگزاری نماید.

کمتر است. از طرف دیگر قابلیت تحرک زنجیره‌های پلیمری در چندسازه فوم شده با بی‌کربنات سدیم به دلیل ساختار متخلخل تر و چسبندگی ضعیف تر در منطقه بین فازی در مقایسه با در چندسازه فوم شده با آزو دی کربن آمید بیشتر است. در نتیجه شدت پیک منحنی تانژانت دلتا در چندسازه فوم شده با بی‌کربنات سدیم افزایش می‌یابد.

همچنین در شکل ۴ مشاهده می‌شود که حضور ماده فومزا تغییر محسوسی در موقعیت دمایی نقطه اوج منحنی ایجاد نمی‌کند و تنها به مقدار کمی نقطه اوج منحنی را به سمت دماهای پایین تر منتقل می‌کند که بیانگر کاهش کم دمای تبدیل شیشه ماده زمینه پلیمری در اثر حضور ماده فومزا است. از این رو، کاهش دمای تبدیل شیشه را می‌توان به تحرک بیشتر زنجیره‌های پلیمری و چسبندگی ضعیف در ناحیه سطح مشترک نسبت داد.

نتیجه‌گیری

این پژوهش با هدف ارزیابی بررسی تأثیر نوع و مقدار ماده فومزای شیمیایی بر خواص مکانیکی دینامیکی چندسازه حاصل از پلی‌اتیلن سنگین - الیاف کتان انجام شد و نتایج زیر به دست آمد:

منابع

- [1] Park, C.B. and Sun, A.H., 2005. Influence of foaming agents on properties of wood flour- polypropylene composites. *Journal of Polymer Engineering Science*, 38: 212-219.
- [2] Guo, G., Rizivi, G.M. and Park, C.B., 2008. Wood polymer composite foams, *Wood Polymer Composites*. Woodhead Publishing Ltd, Great Abington, Cambridge, UK , 227-253.
- [3] Rizvi, G., Matuana, L.M. and Park, C.B., 2000. Foaming of PS/wood fiber composites in extrusion using moisture as a blowing agent. *Journal of Polymer Engineering Science*, 40(10): 2124-2132.
- [4] Mangeloglu, F. and Matuana, L.M., 2003. Foaming of rigid PVC/wood flour composites through a continuous extrusion process. *Vinyl Additives Technology Journal*, 9: 26-31.
- [5] Bledzki, A.K. and Faruk, O., 2005. Effects of the chemical foaming agents, injection parameters, and melt-flow index on the microstructure and mechanical properties of microcellular injection molded wood fiber/polypropylene composites. *Journal of Applied Polymer Science*, 97: 1090-1096.
- [6] Kord, B., 2011. Preparation and characterization of lignocellulosic material filled polyethylene composite foams. *Journal of Thermoplastic Composite Materials*, 25(8) 917-926.
- [7] Bledzki, A.K., Zhang, W. and Faruk, O., 2005. Microfoaming of flax and wood fiber reinforced polypropylene composites. *Holz als Roh- und werkstoff*, 63: 30-37.
- [8] Bledzki, A.K. and Faruk, O., 2006. Effect of chemical foaming agent content on cell morphology and physico-mechanical properties. *Journal of Cellular Plastic*, 42: 63-76.

- [9] Matuana, L.M. and Faruk, O., 2010. the effect of gas saturation conditions on the expansion ratio of microcellular poly (lactic acid)/wood-flour composites. *Express Polymer Letters*, 4(10): 621–631.
- [10] Pourabbasi, S. and Kord, B., 2011. Investigation on the effect of chemical foaming agent and wood flour content on mechanical properties, density and cell morphology of HDPE/EVA/ wood flour hybrid foamed composites. *Iranian Journal of Wood and Paper Industries*, 2(1): 63-80. (In Persian).
- [11] ASTM D E1640., 2013. Standard test method for assignment of the glass transition temperature by dynamic mechanical analysis, American Society of Testing and Materials.
- [12] Kord, B., Varshoei, A. and Chamany, V., 2011. Influence of chemical foaming agent on the physical, mechanical and morphological properties of HDPE/wood flour/nanoclay composites. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 30(13): 1115–1124.
- [13] Faruk, O., Bledzki, A.K. and Matuana, L.M., 2007. Microcellular foamed wood plastic composites by different process. *Macromolecules Material Engineering Journal*, 292: 113-117.
- [14] Riahinezhad, M., Ghasemi, I., Karrabi, M. and Azizi, H., 2010. An Investigation on the correlation between rheology and morphology of nanocomposite foams based on low density polyethylene (LDPE) and ethylene vinyl acetate (EVA) blends, *Journal of Polymer Composite*, 31(10): 1808-1816.
- [15] Matuana, L.M., Park, C.B. and Balatinez, J., 1997. Processing and cell morphology relationships for microcellular foamed PVC/wood fiber composites. *Journal of Polymer Engineering Science*, 38: 212-219.
- [16] Pothan, L.A., Oommen, Z. and Thomas S., 2003. Dynamic mechanical analysis of banana fiber reinforced polyester composites. *Composite Science Technology*, 17: 283–293.
- [17] Romanzini, D., Ornaghi, H.L, Amico, S.C. and Zattera, A.J., 2012. Influence of fiber hybridization on the dynamic mechanical properties of glass/ramie fiber-reinforced polyester composites. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 31(23): 1652–1661.
- [18] Devi, L.U., Bhagawan, S.S. and Thomas S., 2010. Dynamic mechanical analysis of pineapple leaf/glass hybrid fiber reinforced polyester composites. *Polymer Composite*, 31: 956–965.
- [19] Pothan, L.A., George, C.N. and John, M.J., 2010. Dynamic mechanical and dielectric behavior of banana-glass hybrid fiber reinforced polyester composites. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 29: 1130–1145.
- [20] Tajvidi, M., Ebrahimi, G.H. and Enayati, A.A., 2003. Dynamic mechanical analysis of compatibilizer effect on mechanical properties of wood flour-polypropylene composites. *Iranian Journal of Natural Resources*, 47-59. (In Persian).
- [21] Kord, B., Ekrami, M. and Roohani, M., 2014. Effect of nanoclay particles content on the mechanical properties of wood flour-polypropylene composites using dynamic mechanic thermal analysis. *Iranian Journal of Wood and Paper Industries*, 5(2): 15-26.
- [22] Dufresne, A., 2000. Dynamic mechanical analysis of the interphase in bacterial polyester/cellulose whiskers natural composites. *Composite Interfaces*, 7 (1): 53-67.

Influence of type and content of chemical foaming agent on the dynamic mechanical properties of high density polyethylene-flax fiber composites

Abstract

This study aimed to evaluate the influence of type and content of chemical foaming agent on the dynamic mechanical properties of high density polyethylene-flax fiber composites. Composites were prepared via melt mixing in an internal mixer, and then foamed using single-stage batch foaming method. Two types of chemical foaming agents including azodicarbonamide (ADC) and sodium bicarbonate (SB) were considered at three levels of 0, 2 and 4 per hundred resins (phr). The amount of flax fiber and coupling agent for all formulations was fixed at 60% and 2 phr, respectively. Static mechanical tests including flexural and tensile were performed on samples. The dynamic mechanical properties such as storage modulus, loss modulus and damping factor of composites were investigated. Morphology of the samples was also evaluated by scanning electron microscopy (SEM). Results indicate that the chemical foaming agent substantially increased cell size and reduced cell density and mechanical strength of composites. Moreover, the lowest mechanical strength was observed in foamed composites with SB. SEM confirmed that the type and content of chemical foaming agent had significant influence on density reduction of foamed composites. Finally, by an increase in the chemical foaming agent content, the storage modulus and loss modulus of samples decreased. However, by adding the chemical foaming agent to the composites, the damping factor increased. Foamed composites prepared with ADC exhibited inferior storage modulus compared to the SB.

Key words: foamed composite, azodicarbonamide, sodium bicarbonate, cell size, storage modulus.

Behrouz Kord¹
Behzad Kord^{2*}

¹ Young Researchers and Elite Club,
Malayer Branch, Islamic Azad
University, Malayer, Iran

² Assistant Professor, Department of
Paper and Packaging Technology,
Faculty of Chemistry and
Petrochemical Engineering, Standard
Research Institute (SRI)

Corresponding author:
b.kord@standard.ac.ir

Received: 2015/05/10
Accepted: 2015/09/06

