بررسی اثر استفاده از سازگارکننده بر روی خواص مکانیکی مواد مرکب پلی‌پروپیلن و آرد چوب با استفاده از تحلیل مکانیکی- دینامیکی(DMA)[1]

مهدی تجویدی[2] قنبر ابراهیمی[3] علی‌اکبر عنایتی[4]

چکیده

در این پژوهش، اثر استفاده از سازگارکننده MAPP بر روی خواص مکانیکی مواد مرکب پلی‌پروپیلن و آرد چوب با استفاده از تحلیل مکانیکی- دینامیکی مورد بررسی قرار گرفته است. مواد مرکب با دو سطح ٢٥و ٥٠ درصد وزنی آرد چوب و دو سطح ١ و ٢ درصد وزنی سازگارکننده ساخته شدند و برای مقایسه، مواد مرکب بدون سازگارکننده و با درصدهای مشابه آرد چوب تهیه گردیدند. آزمون‌های استاتیک شامل کشش و خمش بر روی نمونه‌ها انجام پذیرفت. آزمون مکانیکی - دینامیک درحالت اسکن دما و با دامنه ٦٠- تا ١٢٠+ درجه سانتی‌گراد انجام گردید. نتایج نشان دادند که استفاده از سازگارکننده در بهبود خواص مکانیکی مواد مرکب تولیدی بسیار موثر می‌باشد و این اثر از نظر آماری معنی‌دار است. اثر سازگارکننده بر انتقال‌های عمده پلی‌مر ناچیز بود اما اثر درصد الیاف بر شدت و موقعیت انتقال آلفا کاملا متناسب با درصد الیاف مشاهده گردید. همچنین دمای انتقال شیشه‌ای[5] ترکیبات براثر افزایش سازگارکننده ثابت باقی ماند در حالی که افزایش درصد الیاف اندکی آنرا کاهش داد. طیف فاکتور اتلاف مکانیکی نشان داد که در دماهای بالای ٤٠ درجه سانتی‌گراد اتلاف انرژی مواد مرکب فاقدسازگارکننده افزایش می‌یابد.

واژه‌های کلیدی: *مواد مرکب، آرد چوب، پلی پروپیلن، سازگارکننده، تحلیل دینامیکی- مکانیکی.*

---

[1] - تاریخ دریافت: ٨١/٥/٧ تاریخ تصویب نهایی: ٨١/١٠/٣٠

[2] - دانشجوی دوره دکتری علوم و صنایع چوب و کاغذ دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران

[3] - استاد دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران

[4] - دانشیار دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران

[5] -Glass transition temperature

مقدمه

در سال‌های اخیر، استفاده از الیاف طبیعی به عنوان تقویت‌کننده و یا پرکننده در ساخت مواد مرکب حاصل از الیاف و پلاستیک‌های گرما نرم مورد توجه بسیاری ازمحققین و نیز بخش عمده‌ای از صنعت به ویژه صنایع اتومبیل‌سازی قرارگرفته است (Majurno1999). این الیاف در مقایسه با دیگر تقویت‌کننده‌های رقیب خود مانند الیاف شیشه و پرکننده‌های معدنی دارای محاسن فراوانی از جمله دانسیته کمتر، مقاومت و مدول ویژه بالاتر، ساینده‌گی کمتر و آسانی اصلاح سطح الیاف می‌باشند. همچنین این مواد ارزانتر بوده و از منابع مختلفی قابل تهیه می‌باشند. معایب عمده الیاف طبیعی، محدودیت دمای فراورش و ناسازگاری بین الیاف آبدوست و ماده زمینه آب گریز می‌باشد که به ضعف تقویت این الیاف منتهی می‌گردد (Rowell et al. 1997).

برای رفع مشکل عدم سازگاری دو فاز در این قبیل مواد مرکب از دیرباز پژوهش‌های بسیاری بر روی روش‌های بهبود سطح مشترک بین دو فاز و یافتن مواد شیمیایی مناسبی که بتواند چنین سطح مشترکی را به وجود آورده و یا بهبود بخشند انجام شده است. گوتیه و همکاران[۱] (۱۹۹۸) در مرور خود بر روی مواد مرکب ساخته شده از پلی‌اولفین‌ها و الیاف سلولزی، اعلام می‌دارند که سازگارکننده باید دارای عاملی باشد که نسبت به گروه‌های هیدروکسیل سلولز به شدت فعال باشد و در عین حال دارای زنجیری غیرقطبی (ترجیحا از نوع ماده زمینه) نیز باشد (Gauthie et al. 1998). یکی از بهترین مواد سازگارکننده‌ای که تاکنون برای بهبود سطح مشترک الیاف و ماده زمینه پلی‌پروپیلن پیشنهاد شده است، پلی‌پروپیلن اصلاح شده با انیدرید مالئیک ***(MAPP)*** می‌باشد (George et al. 2001, Oksman et al. 1998, Rowell et al. 1997) . برای مطالعه اثر سازگارکننده‌ها بر بهبود خواص این نوع مواد مرکب، عمدتا از آزمایش‌های استاتیک، شامل آزمایش کشش، خمش و ضربه استفاده می‌شود.

یکی از روش‌های نوین مطالعه خواص مواد، تحلیل دینامیکی- مکانیکی است. در این تکنیک، یک بار سینوسی به نمونه وارد می‌گردد و پاسخ نمونه به بار اعمال شده ثبت می‌گردد. پاسخ ماده به بار اعمال شده در این تکنیک به دو بخش مجزا تقسیم می‌گردد. یک بخش الاستیک ***(E)*** که مدول ذخیره[۲] نامیده می‌شود و معرف میزان انرژی جذب شده توسط نمونه است و از نظر تئوری معادل مدول یانگ می‌باشد. بخش دوم ***(E)*** مدول اتلاف[۳] نامیده می‌شود که معرف میزان انرژی مستهلک شده توسط نمونه است. پارامتر مهم دیگر فاکتور اتلاف مکانیکی[۴] ***(tanδ)*** است که نسبت ***E*** به ***E*** می‌باشد. از آنجا که این فاکتور مستقل از شکل نمونه می‌باشد برای مقایسه بین مواد مختلف می‌توان از آن استفاده بهتری نمود. به علاوه فرایند اعمال نیرو به نمونه می‌تواند در دماهای مختلف و یا در فرکانس‌های مختلف انجام گردد که هر یک اطلاعات ارزشمندی در مورد رفتار ویسکوالاستیک ماده در اختیار قرار می‌دهند. از آنجا که در تحلیل دینامیکی- مکانیکی پاسخ ماده به دو بخش مجزا تقسیم می‌شود و می‌توان پاسخ ماده را در دماهای مختلف در یک آزمایش بررسی نمود و نیز به دلیل دقت و سرعت بسیار بالای انجام این آزمایش‌ها، استفاده از این تکنیک امروزه در مطالعه خواص مواد بسیار فراگیر شده است.

نوآنگله و همکاران[۵] (۱۹۹۹) اثر استفاده از سازگار کننده ***MAPP*** در مواد مرکب حاصل از آرد چوب سوزنی‌برگ و پلی‌پروپیلن را با استفاده از تحلیل دنیامیکی- مکانیکی مورد بررسی قرار دادند هر چند در این بررسی مقایسه مستقیمی بین ترکیب‌های حاوی و فاقد سازگارکننده انجام نگرفت. فنگ و همکاران[۶] (۲۰۰۱) اثر سازگارکننده ***MAPP*** را بر رابطه بین ساختار و خواص مواد مرکب پلی‌پروپیلن و الیاف کنف مورد بررسی قرار دادند. مطالعات دینامیکی- مکانیکی نشان داد که در هر دو نوع ترکیب جفت نشده انتقال مشابهی مشاهده می‌شوند.

---

۱ -Gauthier et al.

۲ -Storage Modulus
۳ - Loss Modulus
۴ - Mechanical Loss Factor
۵ - Neus Angles et al.
۶ - Feng et al.

مارکوویچ و همکاران[1] (١٩٩٨) اثر اصلاح سطح الیاف توسط انیدرید مالئیک بر خواص دینامیک مواد مرکب تهیه شده از آرد چوب و پلی‌استر اشباع نشده را مطالعه نمودند. نتایج نشان داد که مدول ذخیره ترکیبات حاوی سازگارکننده در تمام دامنه دمای مورد آزمایش بالاتر قرار داشت. سانادی و همکاران[2] (٢٠٠٠) در مطالعه خود بر روی لایه‌های حد واسط کریستالی عرضی در موادمرکب کنف- پلی‌پروپیلن، از تحلیل دینامیکی- مکانیکی استفاده کردند و نتیجه گفتند که انتقال بتا که مربوط به انتقال شیشه‌ای پلیمر بی‌شکل می‌باشد در صورت استفاده از ماده سازگارکننده به دماهای بالاتری منتقل می‌گردد. یین و همکاران[3] (١٩٩٦) نیز نشان دادندکه الیاف چوبی به تنهایی قادر به ایجاد هسته‌های لازم برای تشکیل کریستال‌های عرضی در ماده مرکب نیستند اما حضور ماده سازگارکننده به‌طور قابل ملاحظه‌ای موجب تشدید رشد این کریستال‌ها گردید.

مواد مرکب الیاف طبیعی و پلیمرهای گرمانرم در کاربرد در معرض دامنه گسترده‌ای از دما و بارهای دینامیک واقع می‌گردند. بنابراین استفاده از روشی که بتواند پاسخ ماده به بار اعمال شده به آن را در دماهای مختلف به دست دهد مهم خواهد بود.

لذا اهداف مطالعه حاضر عبارتند از:

١-بررسی چگونگی اثر ماده سازگار کننده برخواص ماده مرکب حاصل از آرد چوب و پلی‌پروپیلن ؛

٢-بررسی اثر دما بر کارایی ماده مرکب؛

٣-مطالعه چگونگی تاثیر سازگارکننده بر دما و شدت انتقال‌های عمده دماده مرکب.

مواد و روش‌ها

مواد: پلی‌پروپیلن مورد استفاده در این تحقیق، هوموپلیمر پروفکس- پی‌دی ٧٠٢ [4] از محصولات شرکت بازل[5] با شاخص جریان مذابی برابر ٣٥g/١٠min (٢٣٠°C، ٢/١٦ kg) و آرد چوب مورداستفاده از چوب افرا با ذرات با درشتی ۴٠ مش از محصولات شرکت امریکن وودفایبرز[6] بود. سازگارکننده مورد استفاده پلی پروپیلن اصلاح شده با انیدرید مالئیک (Mapp) از شرکت محصولات شیمیایی آریستک[7] با نام تجارتی یوتایت (آر) امپی [8] تهیه گردید.

روش‌ها

ساخت مواد مرکب: برای ساخت ماده مرکب مورد نیاز، آردچوب، پلی پروپیلن و سازگارکننده با درصدهای وزنی مندرج در جدول یک به‌طور جداگانه توزین و آنگاه در سیستم مخلوط‌سازی خصوصی شرکت تیل گلوبال ریسورسز[9] واقع در مدیسون ویسکانسین، ایالت متحده با یکدیگر مخلوط شدند. مواد مخلوط شده توسط یک خردکن صنعتی به دانه‌های کوچک تبدیل شدند تا نمونه‌های آزمایشی از آنها ساخته شود.

آماده‌سازی نمونه‌ها

نمونه‌های آزمایشی استاندارد ASTM توسط یک دستگاه قالب‌گیری تزریقی به ظرفیت ٣٣ تن از نوع سینسیناتی میلیکورن[10] با نسبت طول به قطر ١:٢٠ قالب‌گیری شدند. پیش از تزریق، مواد حداقل به مدت ۴ ساعت در دمای ١٠٥ °C خشک شدند تا رطوبت آنها به زیر ٠/٥درصد تقلیل یابد. شرایط تزریق در جدول ٢ آورده شده است.

نمونه‌های DMA از برش نمونه‌های استاندارد آزمون ضربه و ماشین‌کردن ضخامت آنها تا ٢میلی‌متر (ضخامت اسمی) به‌دست آمدند. ماشین فرز مورد استفاده یک ماشین بریج پورت[11] از نوع زانویی عمودی بود و تیغه برنده دستگاه از نوع کاربید انتخاب گردید در تهیه نمونه‌ها دقت شد تا همه آنها از موقعیت‌های مشابهی بر روی نمونه آزمون ضربه تهیه شوند و در هنگام ماشین‌کردن نیز لایه‌هایی از هر دو سطح نمونه

---

١ -Marcovich *et al.*
٢ - Sanadi *et al.*
٣ - Yin et al
٤ - Pro-fax PD 702
٥ - Basell

٦ - American Wood Fibers Inc.
٧ -Aristech
٨ -Yotayt RMP
٩ -Teel Global Resources Inc.
١٠ - Cincinnati Milicorn
١١ -Bridge Port

برداشته شد تا اثرسطح حذف گردد. ابعاد نهایی نمونه‌های DMA، ۲×۸×۵۲ میلی‌متر بود.

جدول ۱- اجزای تشکیل‌دهنده ترکیبات مختلف موردآزمایش

شماره ترکیب	کد	درصد الیاف	درصدرزین	درصدسازگارکننده
۱	PP	۰	۱۰۰	۰
۲	PP-WF-25	۲۵	۷۴	۱
۳	PP-WF-50	۵۰	۴۸	۲
۴	PP-WF250	۲۵	۷۵	۰
۵	PP-WF50-0	۵۰	۵۰	۰

جدول ۲- شرایط تزریق جهت ساخت نمونه‌های آزمونی

ماده	دمای قالب (°C)	دمای لوله (°C)	سیکل تزریق			فشار تزریق(Mpa)		سرعت تزریق (Mm/s)
			پرکردن	نگهداشتن	خنک‌کردن	پرکردن	نگهداشتن	
PP	۳۷/۸	۱۸۷/۸	۴	۴	۸	۲/۷۶	۲/۷۶	۱۲/۷
PP-WF-۲۵	۳۷/۸	۱۸۷/۸	۱۰	۴	۸	۳/۴۵	۳/۴۵	۲۵/۴
pp-WF-۵۰	۳۷/۸	۱۸۷/۸	۱۰	۴	۸	۸/۴۱	۸/۴۱	۲۲/۹
PP-WF-۲۵-۰	۳۷/۸	۱۸۷/۸	۱۰	۴	۸	۳/۴۵	۳/۴۵	۲۵/۴
PP-WF-۵۰-۰	۳۷/۸	۱۸۷/۸	۱۰	۴	۱۲	۷/۸۶	۷/۸۶	۳۰/۵

آزمایش کشش: آزمون کششی نمونه‌ها مطابق با آیین‌نامه ***ASTM D638 M89*** بر روی نمونه‌های نوع ***M-I*** انجام شد. آزمایش کشش توسط یک دستگاه اینسترون[1] مدل ۵۵۶۶ با سرعت بارگذاری ***mm/min*** ۵/۰۸ انجام شد. کرنش ایجاد شده در هر نمونه بایک کرنش‌سنج ***MTS*** که بر روی نمونه نصب می‌گردید اندازه‌گیری شد. فاصله مقیاس ***cm*** ۲/۵۴ بود و ۱۰ نمونه از هر ترکیب آزمایش شد.

آزمایش خمش: آزمایش خمش نمونه‌ها مطابق با آیین‌نامه ***ASTM D790-90***، روش ***I*** انجام شد. ابعاد اسمی نمونه‌ها معادل ***mm*** ۳/۲ ۸ ۱۳× ۱۳۰، طول دهانه ***mm*** ۱۰۰ و نسبت طول دهانه به ضخامت نمونه معادل ۳۲ بود. سرعت راس بارگذاری ***mm/min*** ۵/۰۸ و آزمایش‌ها توسط یک دستگاه اینسترون مدل ۵۵۴ با ۱۰ نمونه از هر ترکیب انجام گردید.

آزمون‌های دینامیک: آزمون‌های مکانیکی- دنیامیکی توسط یک دستگاه ***DMTA V*** از شرکت رئومتریک ساینتیفیک[2] انجام شدند. مدل مورد استفاده در اسکن دما تیر دو سرگیردار[3] بود و دامنه دمای مورد استفاده از ۶۰- تا ۱۲۰+ درجه سانتی‌گراد بود. فرکانس نوسانات ۱ هرتز و دامنه کرنش اعمال شده ۰/۱درصد بود که در محدوده رفتار ویسکوالاستیک خطی مواد مورد آزمایش قرار داشت. سرعت گرم‌کردن نیز ***°C/min*** ۲ انتخاب گردید. مدول ذخیره ***(E')***، مدول اتلاف ***(E'')*** و فاکتور اتلاف مکانیکی ***(tanδ)*** در طول آزمایش ثبت و در برابر دما رسم شدند.

نتایج به‌دست آمده از آزمون‌های مختلف در قالب طرح کاملا تصادفی، در سطح اعتماد ۹۵درصد و با استفاده از تجزیه واریانس و آزمون دانکن مقایسه شدند.

نتایج

آزمون‌های کشش و خمش

شکل ۱ اثر سازگارکننده بر مدول الاسیسیته کششی مواد مرکب آرد چوب و پلی‌پروپیلن را نشان می‌دهد. همان‌گونه که ملاحظه می‌شود مقادیر مدول الاستیسیته با افزایش درصد الیاف به طور تقریبا خطی افزایش می‌یابند و این

[1] -Instron
[2] - Rheometric Scientific
[3] - Dual Cantilever

افزایش در مورد ترکیب‌های فاقد سازگارکننده نیز روند مشابهی دارد. مقادیر مدول در ترکیبات فاقد سازگارکننده کمتر از ترکیبات جفت‌شده می‌باشند و این تفاوت از نظر آماری معنی‌دار است.

شکل ۲ اثر سازگارکننده بر مقاومت کششی ماده مرکب آرد چوب - پلی‌پروپیلن را نشان می‌دهد. افزایش تقریبا خطی مقادیر مقاومت کششی براثر افزایش درصد الیاف در مورد ترکیبات حاوی سازگارکننده مجددا ملاحظه می‌شود اما در مورد نمونه‌های فاقد سازگارکننده، مقادیر مقاومت کششی کاهش می‌یابند و اختلاف آن با مقادیر مربوط به نمونه‌های حاوی سازگارکننده معنی‌دار است.

شکل ۳ اثر سازگارکننده بر مدول الاستیسیته خمشی ماده مرکب حاوی و فاقد سازگارکننده را نشان می‌دهد، همان‌طور که ملاحظه می‌شود هیچ‌گونه تفاوت معنی‌داری بین مقدار مدول الاستیسیته نمونه‌های حاوی و فاقد سازگارکننده ملاحظه نمی‌شود و روند افزایش همانند مدول الاستیسیته کششی می‌باشد.

شکل ۴ نشان می‌دهد که مقادیر مقاومت خمشی نمونه‌های حاوی سازگارکننده بر اثر افزایش درصد الیاف به طور کاملا خطی افزایش می‌یابد اما در نمونه‌های فاقد سازگارکننده با دوبرابر شدن مقدار الیاف مقادیر مقاومت خمش افزایش قابل ملاحظه‌ای نمی‌یابند.

تحلیل دینامیکی- مکانیکی

شکل اثر سازگارکننده بر مدول ذخیره نمونه‌های حاوی و فاقد سازگارکننده را نشان می‌دهد همانگونه که دیده می‌شود، تا زیر دمای انتقال شیشه‌ای در حدود صفر درجه سانتی‌گراد، تفاوت قابل توجهی بین مدول ذخیره نمونه‌های حاوی سازگارکننده و بدون آن دیده می‌شود. اما بعد از این دما فاصله بین دو منحنی کمتر شده و در نمونه‌های حاوی حدود ۲۵درصد الیاف به حداقل می‌رسد گرچه در سراسر دامنه مورد آزمایش، منحنی مدول ذخیره نمونه‌های حاوی سازگارکننده بالاتر باقی می‌ماند. شکل ۶ اثر سازگارکننده بر مدول اتلاف نمونه‌های حاوی و فاقد سازگارکننده را نشان می‌دهد.

انتقال‌های عمده در دامنه دمای مورد مطالعه به خوبی در این شکل دیده می‌شوند. نخستین انتقال در دمای حدود صفر درجه سانتی‌گراد دیده می‌شود که به دمای انتقال شیشه‌ای مربوط می‌باشد. همان‌طوری که ملاحظه می‌شود هیچ‌گونه تغییر قابل ملاحظه‌ای در دمای انتقال شیشه‌ای چه بر اثر افزایش درصد الیاف و چه بر اثر اضافه‌کردن سازگارکننده مشاهده نمی‌شود.

دومین انتقال، انتقال آلفا می‌باشد که در محدوده دمای ۶۰ تا ۸۰ درجه سانتی‌گراد دیده می‌شود. ملاحظه می‌شودکه باز هم افزودن سازگارکننده تاثیری بر دمای انتقال آلفا ندارد هر چند این انتقال با افزایش میزان الیاف به سمت دماهای بالاتر متمایل می‌گردد.

شکل ۷ اثر سازگارکننده بر فاکتور اتلاف مکانیکی ($tan\delta$) نمونه‌های حاوی و فاقد سازگارکننده رانشان می‌دهد. همان‌طوری که دیده می‌شود، یک انتقال عمده (بتا) در دمای حدود صفردرجه سانتی‌گراد دیده می‌شود. وجود یا عدم وجود سازگارکننده در ۲۵درصد الیاف تفاوت چندانی در مقادیر فاکتور اتلاف مکانیکی ایجاد نمی‌کند امادر نمونه‌های حاوی ۵۰ درصد الیاف، عدم وجود سازگارکننده به افزایش قابل توجه فاکتور اتلاف مکانیکی در دماهای بالای ۴۰ درجه سانتی‌گراد منتهی می‌گردد.

بحث و نتیجه‌گیری

آزمون‌های کششی و خمشی

همان‌گونه که در شکل ۱ دیده می‌شود، مدول الاستیسیته کششی پلی‌پروپیلن خالص کمتر از یک Gpa می‌باشد که با افزودن ۲۵درصد و ۵۰درصد آرد چوب این مقدار ترتیب به حدود Gpa ۲ و Gpa ۴ افزایش یافته است. مدول الاستیسیته مواد مرکب در درجه اول به مدول اجزای تشکیل‌دهنده آنها وابسته می‌باشد. از آنجا که در هر دوگروه نمونه‌های حاوی و فاقد سازگارکننده، اجزای تشکیل‌دهنده ماده مرکب یکسانند، تفاوت زیادی بر اثر افزودن سازگارکننده دیده نمی‌شود(Oksman *et al.* 1998) هرچند وجود سازگارکننده احتمالا ضمن کمک به پخش و پراکنش

بهتر الیاف، سبب افزایش اندک مدول الاستیسیته کششی در نمونه‌های حاوی سازگارکننده گردیده است.

مشابه چنین حالتی در مورد مدول الاستیسیته خمشی (شکل ۳) نیز مشاهده می‌گردد مقادیر مدول‌های کششی و خمشی نیز نسبتا مشابه می‌باشند. نکته قابل توجه آن است که اثر سازگارکننده بر روی مدول خمشی نسبت به مدول کششی کمتر است که علت آن را می‌توان در حساسیت کمتر آزمایش خمشی به نایکنواختی یا معایب ریز درون نمونه جستجو نمود.

مقاومت‌های کششی و خمشی مواد مرکب به شدت به کیفیت سطح مشترک بین دو فاز ماده مرکب وابسته‌اند زیرا انتقال تنش از ماده زمینه به الیاف به وسیله این ناحیه صورت می‌گیرد. همانگونه که در شکل‌های ۲ و ۴ دیده می‌شود، در حالتی که از سازگارکننده استفاده شده است، مقادیر مقاومت‌های کششی و خمشی با افزایش درصد الیاف افزایش می‌یابند. زیرا میزان تنش قابل تحمل ماده مرکب بر اثر وجود فاز تقویت کننده افزایش یافته است. لیکن در حالتی که از سازگارکننده استفاده نشده است، انتقال تنش از ماده زمینه به الیاف به درستی صورت نگرفته و مقاومت کاهش یافته است (Oksman et al. 1998).

تحلیل دینامیکی – مکانیکی

همان‌گونه که در شکل ۵ نشان می‌دهد، مدول ذخیره نمونه‌های همه تیمارها با افزایش دما کاهش می‌یابد. دردمای حدود صفردرجه سانتی‌گراد، افت ناگهانی مدول ذخیره دیده می‌شود که بیانگر انتقال بتا یا دمای انتقال شیشه‌ای است. این انتقال به دلیل حرکات ملکولی همراه با پلی‌پروپیلن بی‌شکل محدود نشده به وجود می‌آید (Rowell et al. 1997, Wu *etal.* 2000) . زیرا این نقطه، اثر سازگار کننده بر مدول ذخیره نسبتا زیاد است اما پس از آن مدول ذخیره نمونه‌های حاوی و فاقد سازگارکننده به هم نزدیک می‌شود. این به‌آن دلیل است که تا این دما ماده زمینه پلیمری در حالت شیشه‌ای قرارداشته و مدول بالاتری داد در نتیجه اثر چسبندگی بین فازی شدیدتر است. بالاتر بودن مدول ذخیره نمونه‌های حدوی سازگارکننده به آن معنی است که چسبندگی بین آرد چوب و ماده زمینه پلی پروپیلن بهتر شده است (Rowell *et al.* 1997).

نکته قابل توجه آن است که در نمونه‌های حاوی۲۵درصد الیاف، اثر سازگارکننده در بالاتر از دمای انتقال شیشه‌ای محدود است اما این اثر در نمونه‌های حاوی ۵۰درصد الیاف شدیدتر می‌باشد (شکل ۵). در سطوح بالاتر الیاف به دلیل آثار متقابل الیاف بر یکدیگر و نیز ماده زمینه، چسبندگی بین دو فاز نقش مهم‌تری پیدا می‌کند و در نتیجه سازگارکننده اثر بیشتری خواهد داشت.

دو انتقال عمده درشکل ۶ دیده می‌شوند. نخستین انتقال در محدوده دمای صفر تا ۱۰ درجه سانتی‌گراد دیده می‌شود که دمای انتقال شیشه‌ای است. ملاحظه می‌شود که افزودن سازگارکننده به ترکیب ماده مرکب (در هر دو سطح ۲۵ و ۵۰درصد الیاف) اثری بر دمای انتقال شیشه‌ای ندارد. لازم به ذکر است که ***MAPP*** خاصیت نرم‌کننده دارد بنابراین انتظار می‌رود که اگر قسمتی از این ماده در ترکیب به حالت آزاد باقی مانده باشد، دمای انتقال شیشه‌ای کاهش یابد (Sanadi *et al.* 2000). عدم تحقق این موضوع نشانگر آن است که در هر دو سطح الیاف، هیچ‌گونه سازگارکننده آزادی در ترکیب باقی نمانده است. از طرف دیگر چسبندگی بهتر بین الیاف و ماده زمینه موجب کمترشدن قابلیت تحرک زنجیرهای پلی‌متر می‌گردد. بنابراین می‌توان انتظار داشت که دمای انتقال شیشه‌ای در نمونه‌های حاوی سازگارکننده افزایش یابد. با توجه به اینکه چنین پدیده‌ایی در این بررسی مشاهده نمی‌شود می‌توان نتیجه گرفت که تعادلی بین اثر نرم‌کنندگی سازگارکننده و اثر آن در بهبود چسبندگی وکاهش قابلیت تحرک زنجیرها به‌وجود آمده باشد. کاهش دمای انتقال شیشه‌ای بر اثر افزایش درصد الیاف حاکی از آن است که اثر نرم‌کنندگی غالب می‌باشد. زیرا در غیراین صورت بر اثر افزایش درصد الیاف، قابلیت تحرک ملکول‌ها کمتر شده و قاعدتا می‌بایست دمای انتقال شیشه‌ای افزایش یابد. فنگ و همکاران (۲۰۰۱) اظهار می‌دارند که دمای انتقال شیشه‌ای در مواد مرکب تابعی از متغیرهای ذکر شده می‌باشد و جهت تغییر این بستگی به آن دارد که کدام عامل غالب باشد. نتیجتا همان‌طور که فنگ و همکاران (۲۰۰۱) گزارش

کرده‌اند، وجود سازگارکننده در نمونه‌های سطح الیاف ثابت اثری بر انتقال‌های عمده ندارد.

انتقال آلفا که در شکل ۶ در محدوده دمای ۶۰ تا ۸۰ درجه سانتی‌گراد دیده می‌شود به استهلاک انرژی زنجیرهای بی‌شکل و محدوده شده پلی‌پروپیلن ارتباط دارد (۱۴). سانادی و همکاران (۲۰۰۰) اشاره می‌کنند که انتقال آلفا عمدتا بر اثر معایب حاصل در کریستال‌های پلی‌متری به‌وجود می‌آید. شدت انتقال آلفا با افزایش درصد الیاف افزایش می‌یابد (شکل ۶) این امر نشان می‌دهد که در درصدهای بالاتر الیاف میزان این معایب افزایش می‌یابند.

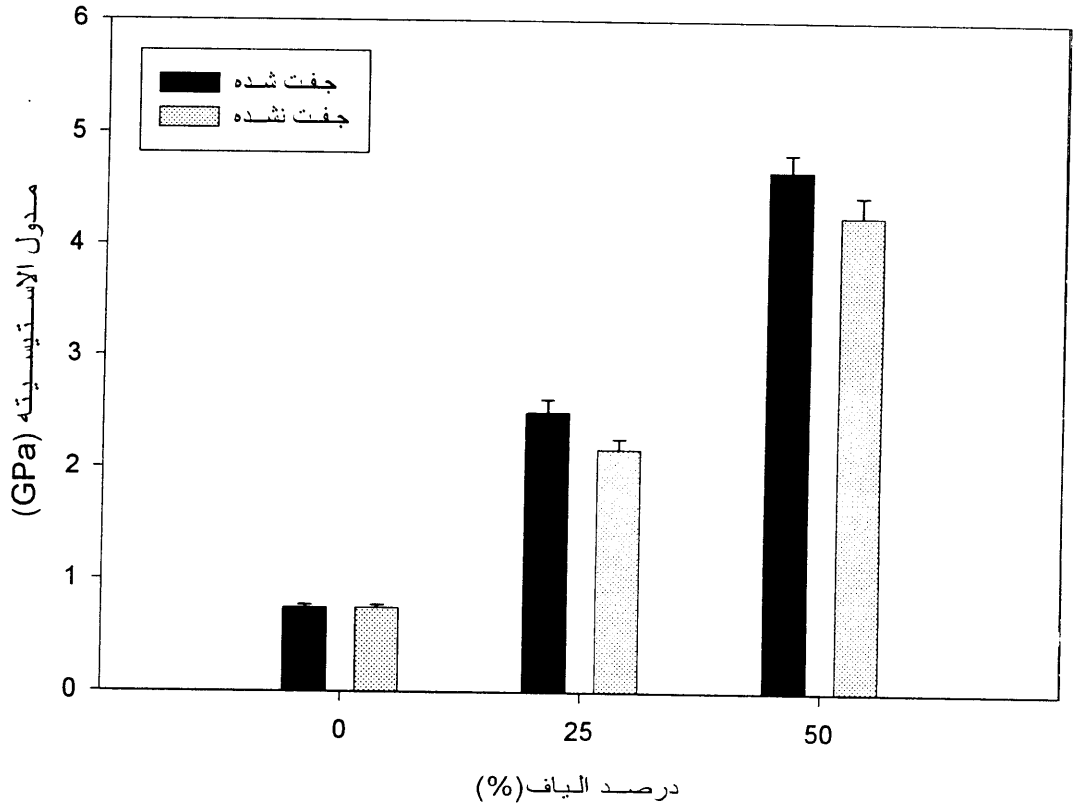
همان‌گونه که مشاهده می‌شود انتقال آلفا بر اثر افزایش درصد الیاف به دماهای بالاتر منتقل می‌گردد. سانادی و همکاران (۲۰۰۰) اظهار می‌دارند که این حالت بر اثر بیشتربودن غلظت ***MAPP*** در نمونه‌های حاوی مقدار کمتر الیاف و به دلیل اثر نرم‌کنندگی سازگار کننده به‌وجود می‌آید. لیکن در بررسی حاضر، از سازگار کننده متناسب با مقدار الیاف استفاده گردید بنابراین غلظت سازگارکننده در نمونه‌های تهیه شده با هر دو سطح الیاف برابر بوده است. نتیجتا اثر محدودگی الیاف برحرکات ملکولی بسیار شدیدتر از اثر نرم‌کنندگی سازگار کننده بوده است.

انتقال بتا در شکل ۷ نیز به خوبی دیده می‌شود. همان‌طوری‌که ملاحظه می‌شود، در نمونه‌های ساخته شده با ۲۵درصد الیاف، تفاوت چندانی بین مقادیر فاکتور اتلاف مکانیکی نمونه‌های حاوی و فاقد سازگاری‌کننده دیده نمی‌شود. این امر بیانگر این نکته است که در سطوح پایین الیاف اثرسازگارکننده کمتر چشمگیر است. اما در نمونه‌های حاوی ۵۰درصد الیاف به خوبی دیده می‌شود که پس از عبور از دمای انتقال شیشه‌ای و در محدوده بالای ۴۰ درجه سانتی‌گراد اثر وجود سازگارکننده به شدت محسوس می‌گردد و در نمونه‌های فاقد آن، مقادیر $\tan\delta$ افزایش می‌یابند. این پدیده که قبلا در منابع گزارش نشده است می‌تواند به دلیل به‌وجود آمده باشد که در سطوح بالاتر الیاف، مقدار انرژی مستهلک شده درسطح مشترک بین دو فاز بیشتر است و بر اثر افزودن سازگارکننده و بهبود این سطح مشترک، مقدار انرژی مستهلک شده کاهش می‌یابد و در نتیجه اثر جفت‌کنندگی سازگارکننده محسوس‌تر می‌گردد.

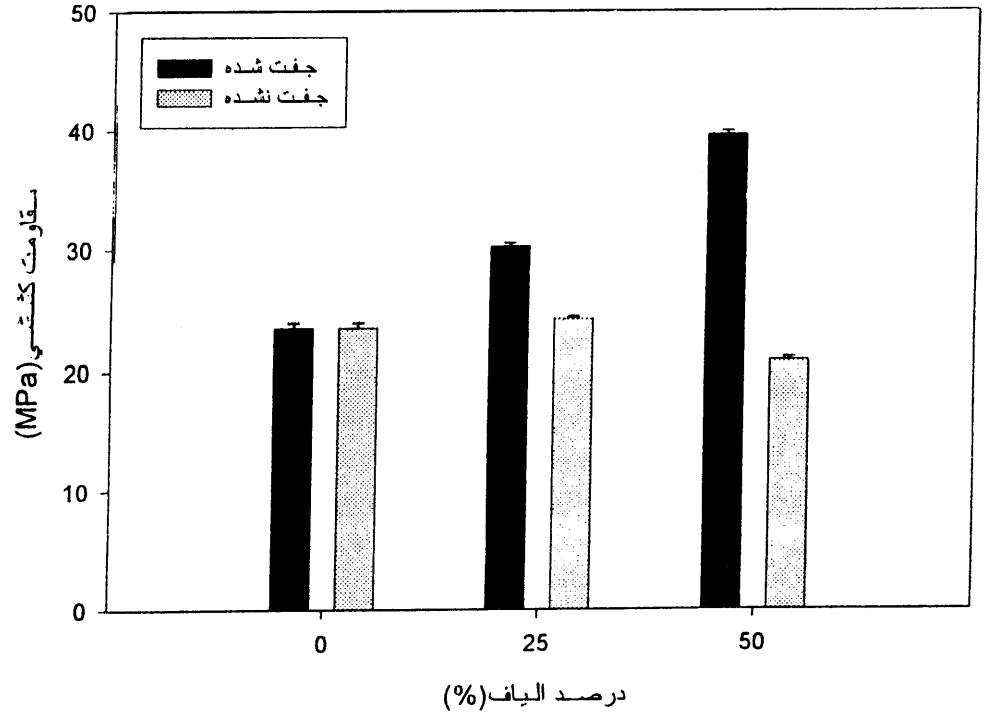
در مجموع می‌توان نتیجه گرفت که تحلیل دینامیکی-مکانیکی روشی بسیار مناسب در بررسی خواص مکانیکی مواد مرکب حاصل از الیاف سلولزی و پلیمرها بوده و تغییرات جزیی ساختاری که به تغییرات خواص مواد منتی می‌شود را با دقت بالا نشان می‌دهد. علاوه بر این می‌توان اثر افزودنی‌های مختلف را در دماهای مختلف مورد بررسی قرار داد و درک وسیع‌تری از رفتار ماده در دامنه دمای مورد استفاده به‌دست آورد.

سپاسگزاری

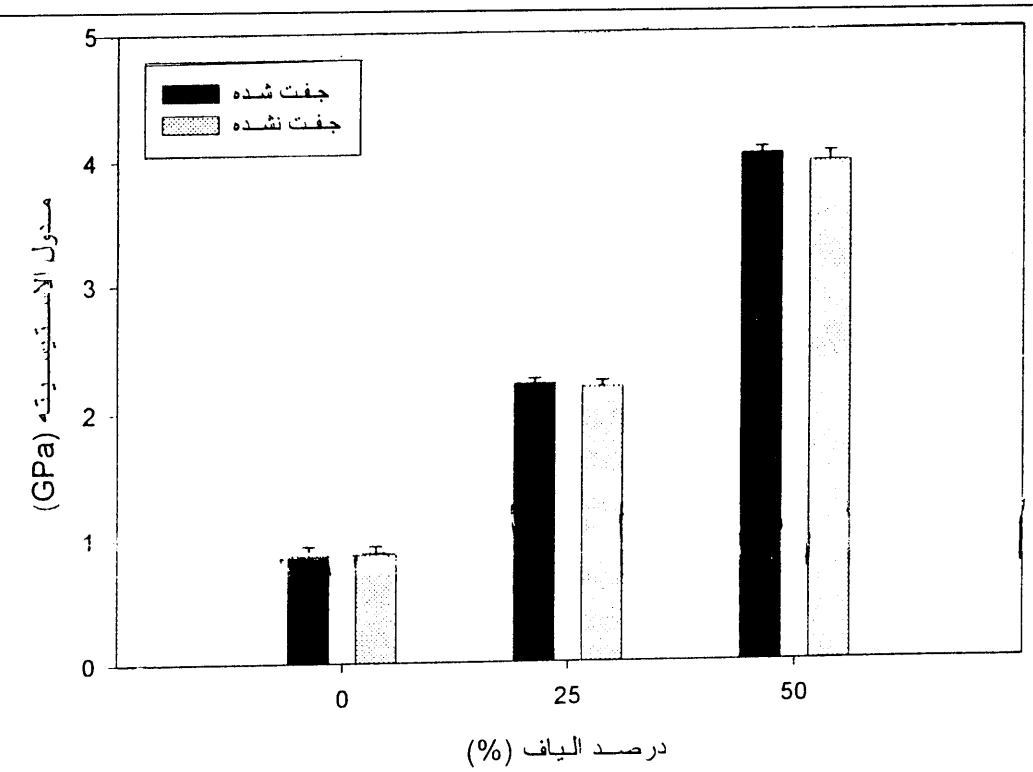
نویسندگان مایلند از همکاری کلیه کارکنان آزمایشگاه محصولات جنگلی ایالات متحده (FPL) که در طول انجام این پژوهش کمال همکاری را مبذول داشته‌اند صمیمانه سپاسگزاری کنند. همچنین از آقای کالین‌فلتون مدیر فنی شرکت تیل گلوبال ریسورسز به جهت تامین مواد اولیه و همکاری در ساخت نمونه‌ها قدردانی می‌شود. راهنمایی‌ها و مشاوره آقایان، آناند سانادی وکرگ کلمونس نیز فراموش ناشدنی است.



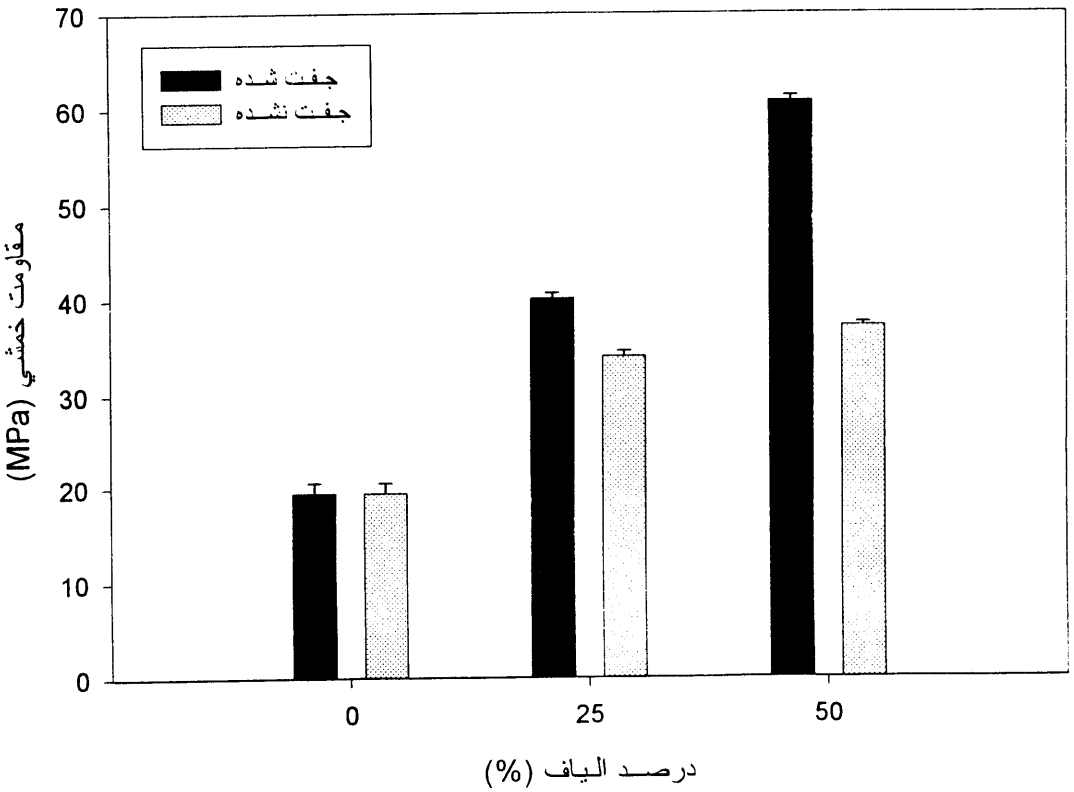
شکل ۱- اثر سازگارکننده بر مدول الاستیسیته کششی مواد مرکب آردچوب و پلی‌پروپیلن



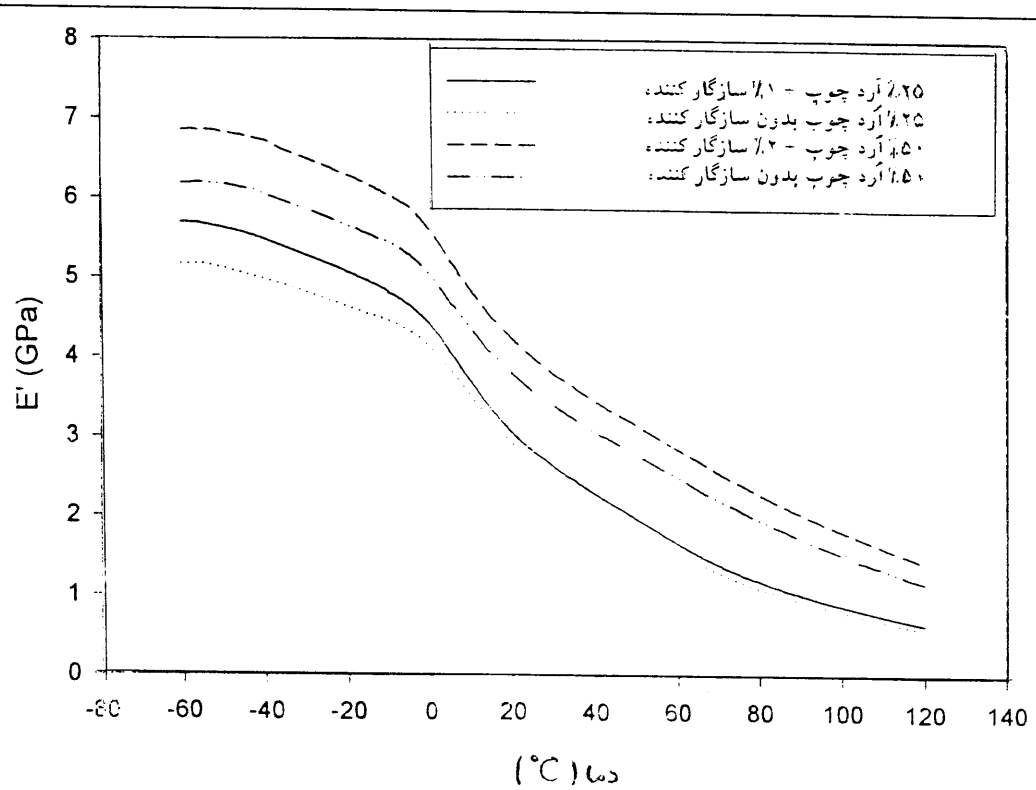
شکل ۲- اثر سازگارکننده بر مقاومت کششی مواد مرکب آردچوب و پلی‌پروپیلن



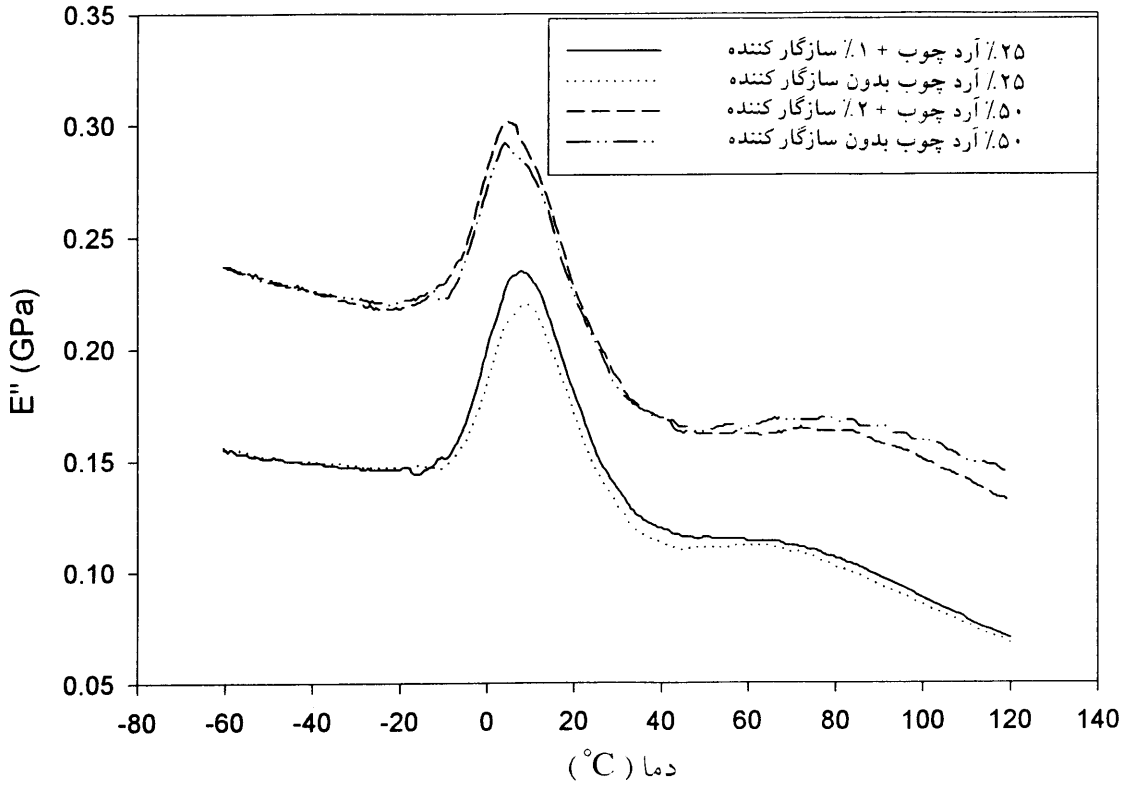
شکل ٣- اثر سازگارکننده بر مدول الاستیسیته خمشی مواد مرکب آردچوب و پلی‌پروپیلن



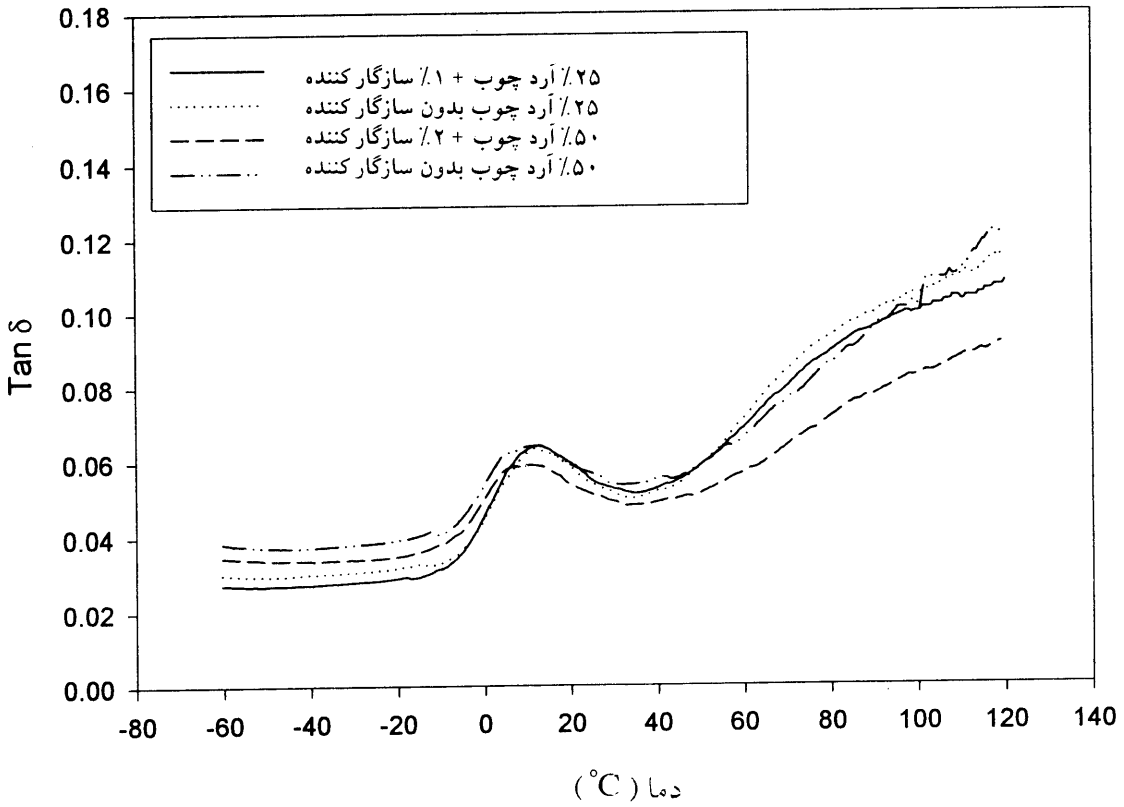
شکل ٤- اثر سازگارکننده بر مقاومت خمشی مواد مرکب آردچوب و پلی‌پروپیلن



شکل ٥- اثر سازگارکننده بر مدول ذخیره مواد مرکب آردچوب و پلی‌پروپیلن



شکل ٦- اثر سازگارکننده بر مدول اتلاف مواد مرکب آردچوب و پلی‌پروپیلن



شکل ۷- اثر سازگارکننده بر فاکتور اتلاق مکانیکی مواد مرکب آردچوب و پلی‌پروپیلن

منابع

1.Coutinbo, F.M.B., T.H.S. Costa & D.L. Carvalho, 1997. Polypropylene-Wood fiber composites: Effect of treatment and mixing conditions on mechanical properties, Journal of Applied polymer Science, 65: 1227-1235.

2-Feng, D., D.F. Caulfield & A. R. Sanadi, 2001. Effect of comqatibilizer on the structure-property relationships of kenaf-fiber/polypropylene composites. Polymer Composites, August 2001, Vol. 22, No.4, 506-517.

3-Gauthier, R., C. Joly, A. C. Coupas, H., Gauthier & M. Escoubes, 1998. Interfaces in Polyolefin/cellulosic fiber composites: Chemical Coupling, morphology, correlation with adhesion and aging in moisture, polymer Composites, June 1998, Vol. 19, No. 3, 287-300.

4-George, J., M.S. Steekala & S. Thomas, 2001. A review on interface modification and characterization of natural fiber reinforced plasitc comosites, polymer Engineering and Scinece, September 2001, Vol. 41, No. 9, 1471-1485.

5-Magurno, A., 1999. Vegetable fibers in automotive interior compartments, Die Angewandte Makromolekulare Chemie, 272: 99-107.

6-Marcovich, N. E., M. M. Reboredo & M. I. Aranguren, 1998. Mechanical properites of wood floure unsaturated polyester composites, Journal of Applied polymer Science, Vo. 70, 2121-2131.

7-Martinez Urreaga, J., M. C. Matias, M. U. De la ordeu, M. A. Lechuga Munguia & C. Gonzalez Sanchez, 2000. Effects of coupling agents on the oxidation and darkening of cellulosic matrials used as reinforcements of thermoplastic matrices in composites, Polymer Enginering and Science, February 2000, Vol. 40, No.2, 407-417.

8-Neus Angles, M., J. Salvado & A. dufresne, 1999. Steam explode residual softwood-filled polyprophylene composites, Journal of Applied polymer science, Vol. 74, 962-1977.

9-Oksman, K. & C. Clemons, 1998. Mechanical prperties and morphology of impact moditied polypropylene-wood flour composites, Journal applied polymer Science, Vol. 67,1503-1513.

10-Oksman, K., H. Lindberg & A. Holmgren, 1998. The nature and location of SEBS-MA compatibilizer inpolyethylene-wood flour composites, Journal of Applied polymer Science, Vol.69, 201-209.

11-Rana, A.K., A. Mandal, B. C. Mitra, R. Jacobson, R. Rowell & N. Banergee, 1998. Short jute fiber-reinforced polypropylene composites: Effect of compatibilizer, Journal of Applied polymer Science, Vol. 69, 329-338.

12-Rowell, R., M., A. R. Sanadi, D.F. caulfield & R. E. Jacobson, 1997. Utilization of natural fibers in plastic composits: Problems and opportunities, In: Lignocellulosic-Plastics coposites, Editedby A.L. Leao, F.X. Carvalho & E. Frollinin, University of Rio de Janeiro, 23-51.

13-Sanadi A. R. & D. F. Caulfield, 2000. Transcrystalline interphases innatural fiber-PP composites: Effect of coupling agent, Composite Interfaces, Vol. 7, No. 1, 31-43.

14-Wu, J., D. Yu, C. Chan, J. Kim & Y. Mai, 2000. Effect of fiber pretreatment condition on the interfacial strength and Mechanical properties of wood fiber/PP composites, Journal of Applied polymer Science, Vol. 76, 1000-1010.

15-Yin, S., T. G. Rials & M. P. Wolcott, 1996 . Crystallization behavior of polypropylene and its effect on wood fiber composite properties, The 5th International Conference on Wood-fiber plastic composites, 139-146.

Dynamic Mechanical Analysis of Compatibilizer Effect on Mechanical Properties of Wood Flour-Polypropylene Composites

M. Tajvidi[1] Gh. Ebrahimi[2] A.A. Enayati[3]

Abstract

In the present study, the effect of MAPP as the compatibilizer on the mechanical properties of wood-flour polypropylene composites was investigated using Dynamic Mechanical Analysis (DMA). Composites were made at 25 and 50 percent (by weight) fiber contents and 1 and 2 percent compatibilizer. Controls were also made at the same fiber contents but without the compatibilizer. Static mechanical tests including tensile and bending tests were performed. Temperature scans in the range of -60° to +120°C was done.

Results indicated improvements in the mechanical properties as a result of adding comatibilizer. MAPP had negligible effects on the main transitions while the effect of fiber content on the intensity and temperature of alpha transition was almost proportional to the fiber content. Glass transition remained unchanged when adding MAPP while an increase in fiber content slightly shifted this transition to lower temperatures. Mechanical loss factor spectra showed that above +40°C energy loss became more pronounced when compatibilizer was absent.

Keywords: Composites, Wood flour, Polypropylene, Compatibilizer, Dynamic Mechanical Analysis.

[1] -*Ph.D. Student, Faculty of Natural Resources, Univ. of Tehran*
[2] -*Professor, Faculty of Natural Resources, Univ. of Tehran*
[3] -*Assoc. Prof., Faculty of Natural Resources, Univ. of Tehran*