

## مطالعه اثر افزایش دما بر مقاومت‌های مکانیکی چندسازه تجاری الیاف باگاس پلی‌پروپیلن

### چکیده

در این مطالعه اثر افزایش دما بر مقاومت‌های مکانیکی چندسازه تجاری الیاف باگاس- پلی‌پروپیلن در محدوده دمای اتاق تا دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد مورد ارزیابی و بررسی قرار گرفت. نتایج حاصل برای تعیین وابستگی دمایی خواص مکانیکی چندسازه مورد مطالعه به منظور توسعه ضرایب تنظیم دما به کار گرفته شد. نتایج نشان داد که با افزایش دما خاصیت تغییرشکل‌پذیری چندسازه به دلیل افزایش تغییرشکل پلاستیکی، بیشتر شده، مدول الاستیسیته آن نیز کاهش می‌یابد و شکست در کرنش بالاتری رخ می‌دهد. ضرایب تنظیم حاصله برای مدهای بارگذاری مختلف متفاوت بود و همچنین اثر افزایش دما بر مدول الاستیسیته بیشتر از اثر افزایش دما بر مقاومت بوده است.

**واژگان کلیدی:** خواص مکانیکی، الیاف باگاس، افزایش دما، ضرایب تنظیم دما، پلی‌پروپیلن.

فروغ دستوریان<sup>۱</sup>

محمد لایقی<sup>\*۲</sup>

قنبر ابراهیمی<sup>۳</sup>

مهدی تجویدی<sup>۴</sup>

سید مجید ذبیح زاده<sup>۵</sup>

<sup>۱</sup> دانشجوی دکتری، <sup>۲</sup> استادیار <sup>۳</sup> استاد گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه

تهران، کرج، ایران

<sup>۴</sup> استادیار، University of Maine, Orono, ME, 04469, USA

<sup>۵</sup> دانشیار، گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران

\*مسئول مکاتبات:

mlayeghi@ut.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۰۵/۰۱

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۰۹/۰۹

### مقدمه

استفاده از چندسازه با ماده زمینه پلیمری تقویت‌شده با الیاف طبیعی، به‌طور فزاینده‌ای در مصارف نیمه سازه‌ای [۱،۲] و اخیراً در مصارف سازه‌ای [۳-۵] به‌عنوان جایگزینی برای چوب‌آلات تیمار شده در ساختمان‌های چوبی رایج شده است. برای مصارف ساختمانی مانند اجزای پی و زیرساخت‌های چوب عرشه، داشتن دانش درباره خواص مکانیکی یک پیش‌شرط اساسی است. اگرچه در مورد خواص مکانیکی پایه چندسازه چوب پلاستیک منابع بسیار زیادی وجود دارد [۶-۸] اما در مورد خواص مکانیکی وابسته به دمای این مواد اطلاعات اندکی

موجود است.

نیشکر به مقدار فراوان در مناطق جنوبی و شمالی کشور کشت می‌شود. پس از خرد کردن، له کردن و عصاره‌گیری برای تولید شکر، یک باقیمانده فیبری به نام باگاس باقی می‌ماند که در حال حاضر در ایران از آن برای تولید کاغذ، تخته فیبر با دانسیته متوسط (MDF) و چندسازه الیاف طبیعی-پلیمر استفاده می‌شود.

Monteiro و همکاران (۱۹۹۸) امکان استفاده از الیاف باگاس به‌عنوان تقویت‌کننده در ماده زمینه پلی‌استر را مورد مطالعه قرار دادند [۹]. آن‌ها دریافتند که خواص مکانیکی ماده مرکب حاصل با چندسازه تولیدشده با الیاف چوب

حالت مذاب با یکدیگر مخلوط شده و با استفاده از یک اکسترودر دو ماردونه ناهمسوگرد مجهز به یک پروفیل I شکل اکسترودر شدند.

نمونه‌های آزمون خمشی، فشاری و کششی از قسمت جان پروفیل I شکل راستای تزریق تهیه شدند. ابعاد نمونه‌های آزمونی با یک کولیس دیجیتال اندازه‌گیری شده و در محاسبات مورد استفاده قرار گرفت.

متعادل‌سازی اولیه نمونه‌های آزمونی به مدت دو هفته در دمای  $23 \pm 2$  و رطوبت نسبی  $50 \pm 5$  مطابق دستورالعمل A استاندارد ASTM D618 انجام شد [۱۸].

در آزمون‌های مکانیکی اثر دما، علاوه بر انجام متعادل‌سازی در شرایط مذکور، هر نمونه آزمونی به مدت حداقل یک ساعت قبل از انجام آزمون، در دمای مشخص در یک آون آزمایشگاهی قرار گرفت تا دمای موردنظر در کل ضخامت نمونه یکنواخت شود.

آزمون خمش سه نقطه‌ای، کشش و فشار در پنج سطح دمای ۲۱، ۳۰، ۴۰، ۶۵، ۸۰ درجه سانتی‌گراد با استفاده از ماشین آزمایش (Zwick/Roell Z020, Ulm, Germany) مجهز به یک رأس بارگذاری ۲۰ کیلو نیوتن و سیستم جمع‌آوری کامپیوتری داده انجام شد. آزمون‌ها در مرکز تحقیقات صنعتی Transfer Center Kunststoff Technik در شمال اتریش انجام شد. از یک محفظه کنترل دما برای اعمال دماهای موردنظر استفاده شد. در هر سطح دما، ۱۰ نمونه مورد آزمون قرار گرفت.

تمام داده‌های نیرو-تغییر مکان با سرعت نمونه‌برداری ۱۰ Hz ثبت شد. مدول الاستیسیته به صورت مدول کورد با استفاده از رگرسیون خطی بین ۱۰ تا ۴۰ درصد تنش نهایی (در نقطه شکست) در شیب ابتدایی منحنی تنش و کرنش محاسبه گردید. مقادیر تنش و کرنش نهایی در نقطه شکست با استفاده از روابط مربوطه از نیرو و تغییر مکان نهایی محاسبه گردید. مطابق تحقیقات پیشین انجام شده در این زمینه، چندسازه چوب پلاستیک، در محدوده ۱۰ تا ۴۰ درصد بار نهایی دارای رفتار خطی بوده است [۱۹].

### کشش در جهت تزریق

نمونه‌های مورد استفاده برای آزمون کشش از نوع dog bone نوع III مطابق استاندارد ASTM D638 تهیه شد [۲۰]. نمونه‌های کششی در سرعت بارگذاری

قابل مقایسه است. برخی محققان مطالعاتی در زمینه بهبود عملکرد و خواص مکانیکی چندسازه الیاف باگاس به منظور توسعه در مصارف ساختمانی انجام دادند [۱۳-۱۰].

همانند سایر مواد مرکب ترموپلاستیک، انتظار می‌رود چندسازه پلی‌پروپیلن نیز خواص مکانیکی وابسته به دما داشته باشند [۱۴]. مطالعه خواص مکانیکی وابسته به دمای چندسازه چوب پلاستیک‌ها (WPC)<sup>۱</sup> برای طراحی ایمن اعضای ساختمانی و پیش‌بینی حساسیت اعضا به تنش‌های حرارتی امری ضروری است. برای مصارف بیرونی، خواص مکانیکی WPC ها باید برای کاهش اثر شرایط و عوامل تحمیل شونده محیطی مانند رطوبت و دما تنظیم شود.

Schildmeyer و همکاران (۲۰۰۹) اثر افزایش دما بر مقاومت کششی و فشاری یک چندسازه آرد چوب کاج پلی‌پروپیلن را مورد بررسی قرار دادند [۱۵]. یافته‌ها نشان داد که مدول الاستیسیته و تنش نهایی با دما کاهش می‌یابد در حالی که کرنش نهایی با دما به صورت خطی افزایش پیدا می‌کند. به علاوه این محققان روشی برای تعیین ضرایب تنظیم دما ارائه کرده‌اند.

سایر محققان خواص مکانیکی وابسته به دمای مواد مرکب WPC را مورد بررسی قرار داده‌اند اما یافتن ضرایب تنظیم دما را مدنظر قرار نداده‌اند [۱۶، ۱۷].

هدف اصلی تحقیق حاضر، مطالعه و بررسی اثر دما بر خواص مکانیکی چندسازه آرد باگاس-پلی‌پروپیلن و توسعه ضرایب تنظیم اثر دما برای مقاومت‌های خمشی، کششی و فشاری است. یافته‌های تحقیق حاضر برای توسعه کاربرد ساختمانی چندسازه ترموپلاستیک الیاف طبیعی کاربرد دارد.

### مواد و روش‌ها

چندسازه تجاری آرد باگاس-پلی‌پروپیلن تولید شده توسط شرکت دز چوبکس واقع در جنوب ایران برای این تحقیق مورد استفاده قرار گرفت. این چندسازه شامل ۶۰ درصد وزنی الیاف باگاس (به ابعاد ۵۰ مش) به عنوان پرکننده، ۳۰ درصد وزنی پلی‌پروپیلن به عنوان ماده زمینه پلیمری، ۴ درصد مالئیک انیدرید پلی‌پروپیلن به عنوان سازگارکننده و ۶ درصد سایر افزودنی‌ها بوده است. مواد در

در دمای اتاق مقاومت فشاری این ماده مرکب (۳۴/۹MPa) تقریباً ۱/۹ برابر مقاومت کششی آن بود. همان طور که در شکل ۱ مشاهده می شود تأثیر افزایش دما بر مقاومت کششی در مقایسه با مقاومت فشاری و خمشی کمتر است. تحلیل رگرسیون خطی بر روی مقادیر میانگین تنش نهایی شکست به عنوان متغیر وابسته و دما به عنوان متغیر مستقل، انجام شد. روابط حاصل بین مقادیر تنش نهایی شکست در مدهای بارگذاری مختلف و دما و نیز ضرایب تبیین مربوطه عبارتند از:

$$\sigma_{u(b)} = 4.90 - 0.30T \quad R^2 = 0.98$$

$$\sigma_{u(c)} = 40.23 - 0.31T \quad R^2 = 0.97$$

$$\sigma_{u(t)} = 22.44 - 0.16T \quad R^2 = 0.99$$

که  $\sigma_{u(b)}$  تنش نهایی شکست در خمش،  $\sigma_{u(c)}$  تنش نهایی شکست در فشار و  $\sigma_{u(t)}$  تنش نهایی شکست در کشش و  $T$  دما برحسب °C است.

در شکل ۲ مشاهده می شود که کرنش شکست به طور خطی با افزایش دما افزایش یافته است. در دمای اتاق، کرنش فشاری شکست تقریباً ۳/۸ برابر کرنش کششی شکست بود که نشان دهنده رفتار چکش خواری بیشتر است. علاوه بر این در دمای اتاق، کرنش خمشی شکست ۱/۴ برابر بزرگ تر از کرنش کششی شکست در همین دما بوده است. در کشش، کرنش شکست از ۰/۸۶ درصد در دمای ۲۱°C تا ۱/۵۷ درصد در دمای ۸۰°C افزایش یافت. برای فشار، کرنش شکست از ۳/۲۸ درصد در دمای ۲۱°C تا ۴/۱۴ درصد در دمای ۸۰°C افزایش یافت. در نتیجه می توان گفت وابستگی دمایی کرنش فشاری شکست اندکی بیشتر از وابستگی دمایی کرنش کششی شکست است. علت این پدیده را می توان به وابستگی بیشتر مقاومت و کرنش فشاری، به ماده زمینه پلیمری نسبت داد و همان طور که می دانیم اثر نرم کنندگی دما بر ماده زمینه پلیمری نسبت به الیاف لیگنوسولزی بیشتر است. به علاوه در آزمون فشاری موازی جهت تزریق، کماتش انفرادی الیاف نیز نقش مهمی ایفا می کند که با افزایش دما، کماتش الیاف تشدید شده و موجب کاهش مضاعف مقاومت فشاری و افزایش کرنش فشاری می شود. در حالی که مقاومت کششی بیشتر متأثر از خود الیاف تقویت کننده بوده و به دلیل پایداری حرارتی

۵ mm/min انجام شد. تغییر طول به وسیله یک اکستانسیومتر Zwick با محدوده اندازه گیری ۱۰۰ mm اندازه گیری شد.

### فشار در جهت تزریق

آزمون فشار مطابق استاندارد ASTM آیین نامه D695 انجام شد [۲۱]. ابعاد اسمی نمونه های آزمون فشار  $50/8 \times 12/7 \times 12/7 \text{ mm}^3$  و سرعت بارگذاری مطابق استاندارد  $1/3 \pm 0/3 \text{ mm/min}$  بوده است.

### آزمون خمش سه نقطه ای

آزمون خمش مطابق روش سه نقطه ای تعریف شده در استاندارد ASTM آیین نامه D790 با نرخ کرنش  $0/1 \text{ min}$  انجام شده است (سرعت بارگذاری  $5 \text{ mm/min}$ ) [۲۲]. ابعاد اسمی نمونه ها  $250 \times 13 \times 12/7 \text{ mm}^3$  و طول دهانه  $200 \text{ mm}$  بوده است. مقاومت خمشی و مدول الاستیسیته به ترتیب به صورت مدول گسیختگی (MOR) و مدول الاستیسیته ظاهری (MOE) ارزیابی شدند.

### تجزیه و تحلیل آماری

نرم افزار آماری SPSS for Windows (release 16.0, SPSS Inc.) برای تجزیه و تحلیل آماری مورد استفاده قرار گرفت. از آنالیز واریانس یک طرفه برای تعیین اثر معنادار دماهای مختلف بر ویژگی های مکانیکی استفاده شد. مقادیر  $P > 0.05$  معنادار در نظر گرفته شد.

### نتایج و بحث

شکل ۱ مقاومت چندسازه در محدوده دمایی از دمای اتاق تا دمای ۸۰°C را نشان می دهد. با افزایش دمای اتاق مقاومت های خمشی، کششی و فشاری به طور خطی کاهش یافته است. مقاومت کششی این ماده از  $18/6 \text{ MPa}$  در دمای ۲۱°C تا  $9/2 \text{ MPa}$  در دمای ۸۰°C کاهش یافته است که معادل کاهش ۵۰ درصدی است. مقاومت فشاری این ماده از  $34/9 \text{ MPa}$  در دمای ۲۱°C تا  $16/5 \text{ MPa}$  در دمای ۸۰°C (۵۳ درصد کاهش) کاهش داشته است. همین روند برای مقاومت خمشی حداکثر نیز مشاهده شده است: مقدار MOR از  $36/4 \text{ MPa}$  در دمای اتاق تا  $18/6 \text{ MPa}$  در دمای ۸۰°C، یعنی کاهش برابر با ۴۹ درصد نسبت به دمای اتاق، نشان داده است.

$$\varepsilon_{u(b)} = 2.90 + 0.02T \quad R^2 = 0.79$$

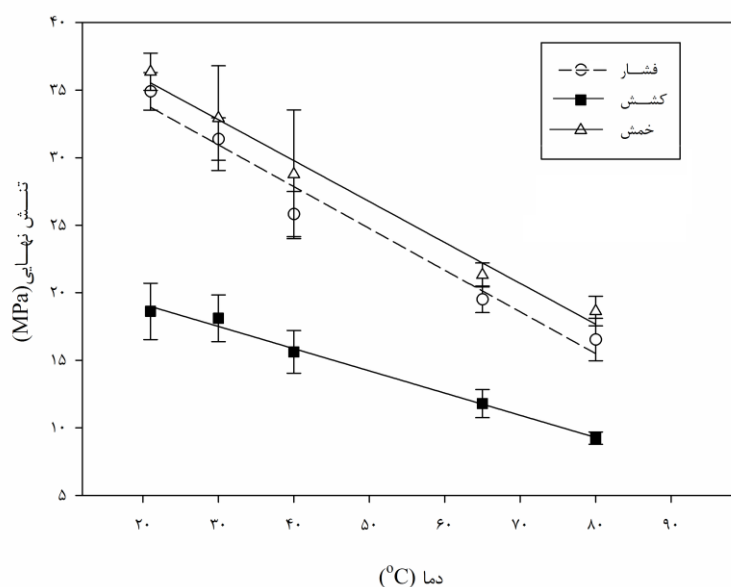
$$\varepsilon_{u(c)} = 1.08 + 0.01T \quad R^2 = 0.93$$

$$\varepsilon_{u(t)} = 0.66 + 0.01T \quad R^2 = 0.97$$

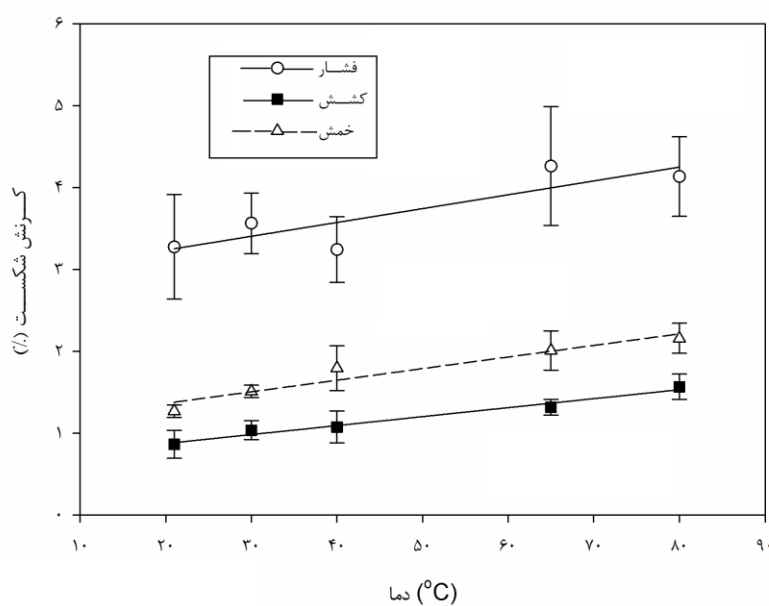
که  $\varepsilon_{u(b)}$  کرنش نهایی شکست در خمش،  $\varepsilon_{u(c)}$  کرنش نهایی شکست در فشار و  $\varepsilon_{u(t)}$  کرنش نهایی شکست در کشش و  $T$  دما بر حسب  $^{\circ}C$  است.

بیشتر الیاف نسبت به ماده زمینه پلیمری، وابستگی دمایی مقاومت و کرنش کششی کمتر از مقاومت و کرنش فشاری بوده است [۲۳].

روابط حاصل از تحلیل رگرسیون خطی بین مقادیر کرنش نهایی شکست در مدهای بارگذاری مختلف و دما و نیز ضرایب تبیین مربوطه عبارت‌اند از:



شکل ۱- اثر دما بر تنش نهایی چندسازه

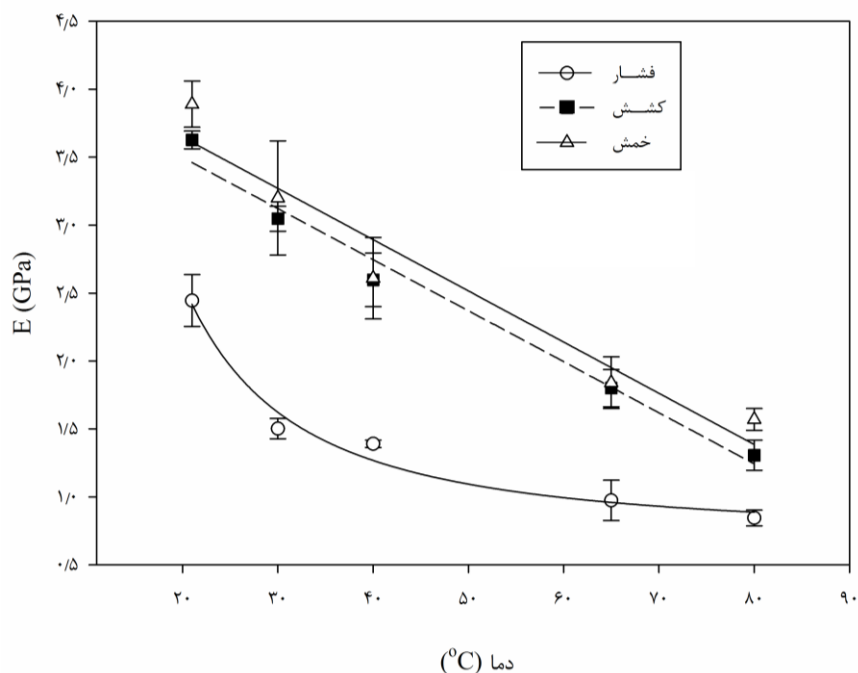


شکل ۲- اثر دما بر کرنش شکست چندسازه

کششی بیشتر در سطح کششی نسبت به مقاومت کششی، تحت بار یکنواخت می‌شود. در واقع در شرایط بارگذاری توزیع یکنواخت آزمون کشش محوری، احتمال تمرکز تنش در یک عیب ساختاری برای شروع شکست بیشتر است نسبت به توزیع مثلثی تنش در خمش. به علاوه، مقادیر مدول گسیختگی، یا به عبارت دیگر، مقاومت کششی نهایی در آزمون خمشی، با به کارگیری تئوری تیر الاستیک ساده برای یک ماده همگن، ایزوتروپیک، با رفتار تنش-کرنش خطی و با فرض اینکه تنش با فاصله از سطح خنثی تیر متناسب است، به دست می‌آید در حالی که در واقعیت توزیع تنش و کرنش در راستای ارتفاع مقطع تیر خطی نیست؛ بنابراین مقاومت خمشی یا MOR، مقدار مقاومت کششی را بازمی‌آورد بیشتر برآورد می‌کند و منجر به مقاومت فشاری برابر یا حتی بیشتر می‌شود به ویژه در دماهای بالاتر که رفتار غیرخطی بیشتر هم می‌شود.

مطابق تئوری تیرها [۷]، مقاومت خمشی و کرنش خمشی باید بین مقاومت و کرنش کششی و مقاومت فشاری قرار گیرند و با توجه به مقاومت فشاری بالاتر این ماده نسبت به مقاومت کششی، شکست در خمش باید در سطح کششی آغاز شود. هرچند همان‌طور که در شکل‌های ۱ و ۲ نشان داده شده است، کرنش خمشی شکست بین کرنش فشاری و کششی قرار گرفته در حالی که مقاومت خمشی اندکی بیشتر از مقاومت فشاری شده است. با این حال تجزیه و تحلیل آماری اختلاف معناداری بین مقاومت خمشی و مقاومت فشاری در سطح اعتماد ۵ درصد نشان نداده است، به استثنای دماهای  $65^{\circ}\text{C}$  و  $80^{\circ}\text{C}$  که مقاومت خمشی به طور معناداری بیشتر از مقاومت فشاری شده است.

مطابق تئوری آماری مقاومت بر اساس توزیع نرمال [۲۴]، توزیع غیریکنواخت تنش خمشی موجب کرنش



شکل ۳- تأثیر دما بر مدول الاستیسیته

رسید که معادل با کاهش در حدود ۶۴ درصد نسبت به دمای اتاق بود در حالی که در فشار، مدول به مقدار  $0.8/3$  رسید که معادل کاهش برابر با ۶۶ درصد نسبت به دمای اتاق بود. در خمش، روند کاهش MOE مشابه مدول کششی بود و به مقدار  $1.3/6$  GPa در دمای  $80^{\circ}\text{C}$  رسید.

در دمای اتاق، مقادیر مدول برای کشش و فشار به ترتیب  $3/6$  GPa و  $2/5$  GPa بود (شکل ۳). هرچند مقدار MOE برای خمش ( $3/9$  GPa) تقریباً برابر با مدول کششی بود.

در کشش، مقادیر مدول در دمای  $80^{\circ}\text{C}$  به  $1.3$  GPa

دماهای مختلف در جدول ۱ آورده شده است. مقادیر داده شده در پرانتز، ضریب تغییرات برحسب درصد است. ضریب تغییرات برای مقادیر مدول از ۱/۷۹ درصد تا ۸/۵۰ درصد متغیر بود که نشان می‌دهد برآورد مدول کورد بین ۱۰ تا ۴۰ درصد بار نهایی روش مناسبی برای تعیین مدول مواد غیرخطی است.

محاسبه سطح زیر بار منحنی‌های تنش و کرنش برای هر مد بارگذاری، مبنایی برای مقایسه قابلیت پخش انرژی ماده به ازای واحد حجم است [۲۵]. از جدول ۱ می‌توان دریافت که انرژی جذب شده در نمونه‌های فشاری به میزان زیادی بیشتر از انرژی جذب شده در سایر مدهای بارگذاری است که علت آن رفتار تغییرشکل پذیر این ماده مرکب در بارگذاری فشاری است که به شکل کرنش زیاد تا شکست نمایان شده است.

روابط حاصل از تحلیل رگرسیون خطی و غیرخطی درجه دو بین مقادیر مدول الاستیک در مدهای بارگذاری مختلف و دما و نیز ضرایب تبیین مربوطه عبارت‌اند از:

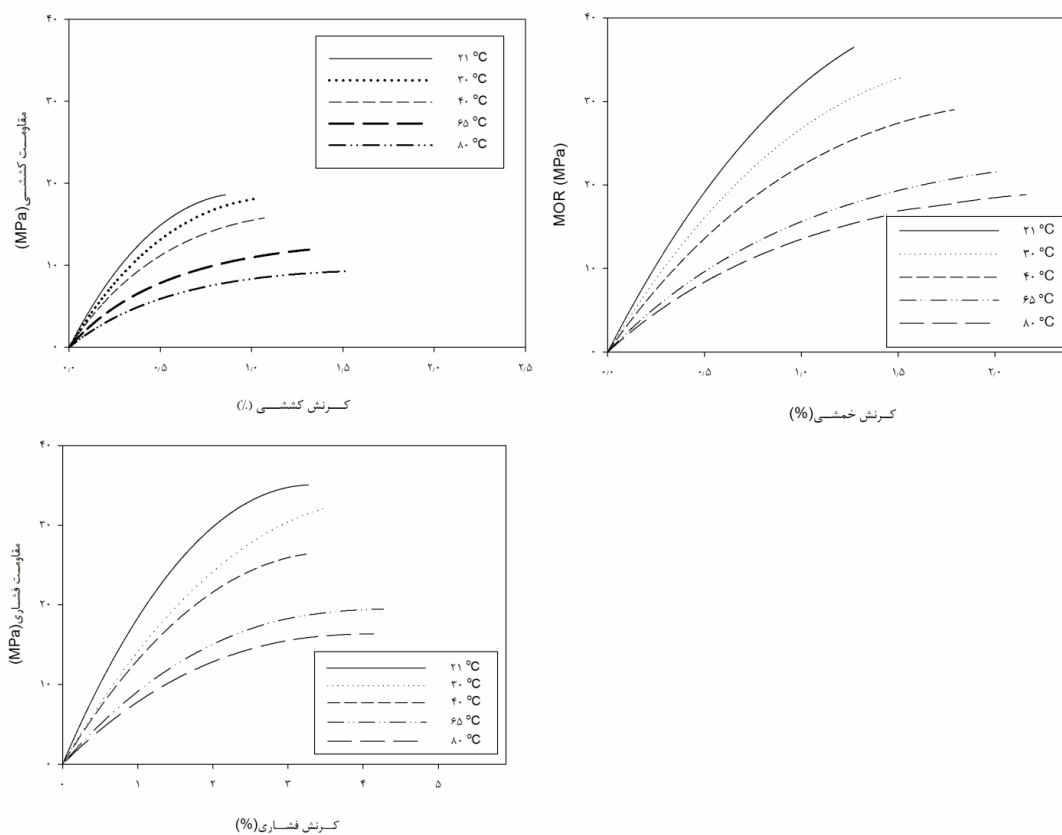
$$E_b = 4.40 - 0.04T \quad R^2 = 0.94$$

$$E_c = 4.25 - 0.04T \quad R^2 = 0.98$$

$$E_t = 0.27 + 8.59T^{-1} + 581.9T^{-2} \quad R^2 = 0.98$$

که  $E_b$  کرنش نهایی شکست در خمش،  $E_c$  کرنش نهایی شکست در فشار و  $E_t$  کرنش نهایی شکست در کشش و  $T$  دما برحسب درجه سانتی‌گراد است. منحنی‌های تنش-کرنش برای آزمون‌های کشش، فشار و خمش در دماهای مختلف در شکل ۴ نشان داده شده است. این منحنی‌ها با میانگین‌گیری مقادیر تنش در سطوح مشابه کرنش برای ۱۰ تکرار در هر نوع بارگذاری محاسبه و رسم شده‌اند.

مقادیر متوسط خواص کششی، فشاری و خمشی در



شکل ۴- منحنی‌های تنش و کرنش کششی در دماهای مختلف

جدول ۱- مقادیر میانگین خواص مکانیکی در دماهای مختلف

ویژگی‌های مکانیکی	دما (°C)				
	۸۰	۶۵	۴۰	۳۰	۲۱
کشش	مدول (GPa)	۱/۸ (۷/۶۱)	۲/۶۰ (۷/۵۸)	۳/۰۵ (۲/۹۹)	۳/۶۳ (۱/۷۹)
	مقاومت (MPa)	۱۱/۸ (۸/۸۱)	۱۵/۶۲ (۱۰/۱۱)	۱۸/۱۱ (۹/۶۱)	۱۸/۶۲ (۱۱/۲۲)
	انرژی (J/mm <sup>3</sup> )	۰/۱۰۷۹	۰/۱۱۳۴	۰/۰۹۳۷	۰/۱۰۵۳
فشار	مدول (GPa)	۰/۹۷ (۵/۱۹)	۱/۳۹ (۱/۹۲)	۱/۵۰ (۴/۹۶)	۲/۴۷ (۷/۶۹)
	مقاومت (MPa)	۱۹/۵۱ (۵/۰۶)	۲۵/۸۳ (۶/۴۶)	۳۱/۳۸ (۵)	۳۴/۸۷ (۴/۲۷)
	انرژی (J/mm <sup>3</sup> )	۰/۵۸۳۲	۰/۵۵۰۶	۰/۷۰۹۵	۰/۷۶۷۲
ضربه	مدول (GPa)	۲/۰۳ (۷/۳۹)	۳/۱۱ (۵/۷۹)	۳/۴ (۵/۸۸)	۴/۰۲ (۳/۹۸)
	مقاومت (MPa)	۲۱/۳۲ (۴/۱۶)	۲۸/۷۷ (۱۶/۵۶)	۳۲/۹۳ (۱۱/۷۶)	۳۶/۳۶ (۳/۷۸)
	انرژی (J/mm <sup>3</sup> )	۰/۲۸۳۳	۰/۳۳۵۵	۰/۳۰۶۴	۰/۲۷۴۳

$$C_t(\sigma_b) = 1 - 0.009\Delta T \quad R^2 = 0.99$$

$$C_t(\sigma_c) = 1 - 0.010\Delta T \quad R^2 = 0.98$$

$$C_t(\sigma_t) = 1 - 0.008\Delta T \quad R^2 = 0.98$$

ضرایب تنظیم دمای حاصله  $C_t$ ، مرتبط با دماهای اعمال شده در جدول ۲ آورده شده است. همان طور که از جدول ۲ برمی آید ضرایب تنظیم مدول در دماهای بالا کمتر از ضرایب تنظیم مقاومت برای هر مد بارگذاری است.

به علاوه، به کارگیری ضرایب تنظیم کششی به جای ضرایب تنظیم خمشی که توسط محققان پیشین پیشنهاد شده بود [۱۵]، شرط ایمنی را برآورده نمی کند و از طرفی به کارگیری ضرایب تنظیم فشاری به جای ضرایب تنظیم خمشی تا حدی محافظ کارانه خواهد بود. همچنین از جدول ۲ می توان دریافت که می توان از ضرایب تنظیم مدول کششی به جای ضرایب تنظیم مدول خمشی یا MOE استفاده کرد. نتایج نشان می دهند که ضرایب تنظیم به دست آمده برای چندسازه مورد مطالعه کمتر از ضرایب تنظیم چوب پیشنهاد شده توسط آیین نامه آمریکایی NDS<sup>۱</sup> (مقررات طراحی ملی) است [۲۶]. این نتیجه دور از انتظار نبود به دلیل اینکه تأثیر کاهش دما بر مقاومت و مدول چندسازه چوب پلاستیک شدیدتر است زیرا اثر نرم کنندگی دما بر ماده زمینه ترموپلاستیک بیشتر است؛ بنابراین ضرایب تنظیم دمای چوب، برای چندسازه چوب پلاستیک قابل استفاده نیست. ضرایب تنظیم دمای یافت شده در این تحقیق نسبت به ضرایبی که قبلاً

### توسعه ضرایب تنظیم دما

انجام آزمون های مکانیکی در دماهای مختلف نشان داده است که دما تأثیر فراوانی بر خواص مکانیکی این ماده مرکب داشته است. ارزیابی این ویژگی ها در دماهای مختلف، مهندس طراح را قادر می سازد تا فاکتور ایمنی را کنترل کند و بنابراین سازه طراحی شده قادر خواهد بود تمامی بارهای وارده را به نحوی ایمن تحمل کند.

بر اساس داده های جدول ۱، نسبت تغییر دما به دمای اتاق که تحت عنوان ضریب تنظیم دما  $C_t$  تعریف می شود، برای هر ویژگی مکانیکی محاسبه شده و به صورت تابعی از تغییر دما نسبت به دمای اتاق ( $\Delta T$ ) رسم می شود (اشکال ۵ و ۶). یک رابطه رگرسیون برای هر مد بارگذاری تعریف می شود به نحوی که در دمای اتاق،  $C_t = 1$  شود یعنی نقطه عرض از مبدأ برابر با یک در نظر گرفته می شود. در نتیجه چند رابطه رگرسیون خطی و درجه دو برای هر سری داده برای رسیدن به معناداری آماری توسط نرم افزار Matlab (Matlab Math Work Inc.) یافت شد. با داشتن این روابط رگرسیون، می توان به ضرایب تنظیم دما برای هر دمایی در محدوده مورد مطالعه دست یافت. روابط رگرسیون حاصله برای مقاومت و مدول در مدهای مختلف بارگذاری عبارتند از:

$$C_t(E_b) = 1 - 0.01\Delta T \quad R^2 = 0.96$$

$$C_t(E_t) = 1 - 0.11\Delta T \quad R^2 = 0.97$$

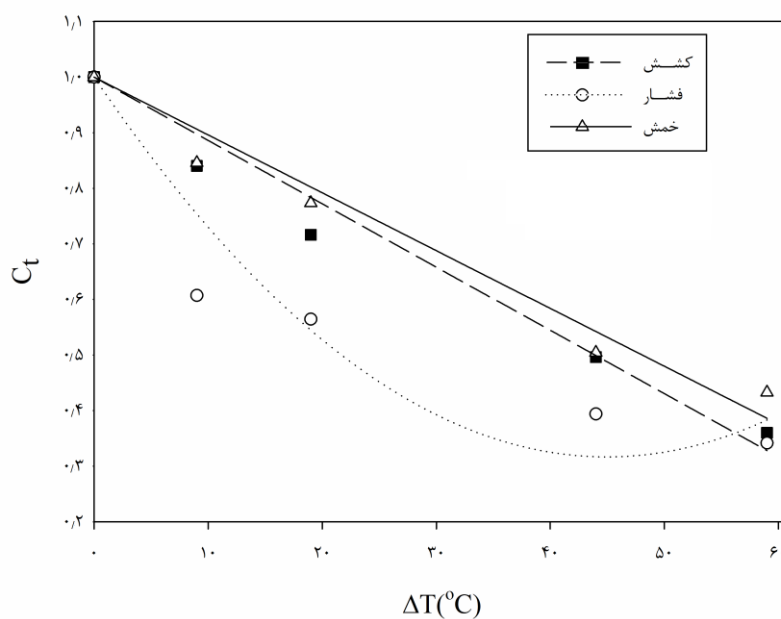
$$C_t(E_c) = 1 - 0.03\Delta T - 0.0003\Delta T^2 \quad R^2 = 0.89$$

برای چندسازه با فرمولاسیون مورد مطالعه قابل استفاده بوده و مستقیماً برای سایر فرمولاسیون‌ها قابل استفاده نیست. اگرچه این اطلاعات می‌تواند پایه‌ای برای مطالعات بیشتر و جامع‌تر باشد.

گزارش شده نیز اندکی کمتر بود [۱۵]. علت این است که خواص مکانیکی مواد مرکب به شدت تحت تأثیر ترکیب بندی، شامل نوع و هندسه ذرات پرکننده، نسبت وزنی اجزا تشکیل دهنده، نوع افزودنی‌ها و روش فرآوری است [۲۷]؛ بنابراین باید تأکید کرد که ضرایب حاصله تنها

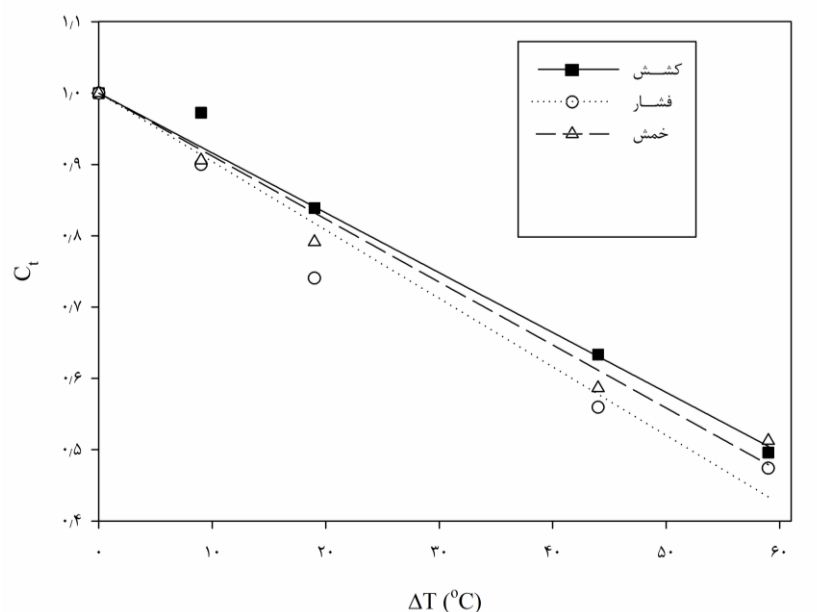
جدول ۲- ضرایب تنظیم اثر دما

دما (°C)					ویژگی‌های مکانیکی
۸۰	۶۵	۴۰	۳۰	۲۱	
<b>کشش</b>					
۰/۳۶	۰/۵	۰/۷۲	۰/۸۴	۱	مدول (GPa)
۰/۵	۰/۶۳	۰/۸۴	۰/۹۷	۱	مقاومت (MPa)
<b>فشار</b>					
۰/۳۴	۰/۳۹	۰/۵۶	۰/۶۱	۱	مدول (GPa)
۰/۴۷	۰/۵۶	۰/۷۴	۰/۹	۱	مقاومت (MPa)
<b>خمش</b>					
۰/۴۳	۰/۵	۰/۷۷	۰/۸۵	۱	مدول (GPa)
۰/۵۱	۰/۵۹	۰/۷۹	۰/۹۱	۱	مقاومت (MPa)



شکل ۵- ضرایب تنظیم دما برای مدول الاستیسیته در مدهای مختلف بارگذاری





شکل ۶- ضرایب تنظیم دما برای مقاومت در مدهای مختلف بارگذاری

حساس هستند.

- ضرایب تنظیم سفتی در دماهای بالا کمتر از ضرایب تنظیم مقاومت بوده است که نشان می‌دهد سفتی بیشتر از مقاومت تحت تأثیر دما بوده است.

- ضرایب تنظیم دما برای هر مد بارگذاری متفاوت است.

- می‌توان از ضرایب تنظیم سفتی حاصل از کشش به جای ضرایب سفتی خمشی استفاده کرد.

## نتیجه‌گیری

هدف این تحقیق، تعیین ضرایب اثر دما برای چندسازه تجاری الیاف باگاس پلی پروپیلن بوده است. نتایج نشان دادند که دما تأثیر معناداری بر مقاومتهای این چندسازه داشت. در دماهای پایین‌تر، ماده از مقاومت و مدول بالاتری برخوردار بود و همچنین خاصیت شکنندگی بیشتری داشت. نتایج زیر از مطالعه حاضر به دست آمده است:

- مدول و مقاومت هر دو نسبت به تغییرات دما

## مراجع

- [1] Clemons, C., 2002. Wood-plastic composites in the United States; The interfacing of two industries. Forest Product Journal, 52(6):10-18.
- [2] Cai, Zh., and Ross, R.J., 2011. Mechanical properties of wood-based composite materials. In: Wood handbook, Forest Products Laboratory, 12.1-12.12 p.
- [3] Odell, J., 2008. Wood plastic composite sill plate for continuous anchorage of shear walls in light frame wood structures. MSc thesis, Washington State University.
- [4] Dolan, J.D., DuChateau, K.A., O'Dell, J., Wolcott, M.P. and Johnson, S., 2010. Effect of form change in sill plates on shear wall performance, 11th World Conference on Timber Engineering 2010, WCTE 2010. 2:1160-1168.

- [5] Haiar, K.J., 2000. Performance and design of prototype wood-plastic composite sections. MSc thesis, Washington State University.
- [6] Slaughter, A.E., 2004. Design and fatigue of a structural wood plastic composite, MSc Thesis, Washington State University.
- [7] Kobbe, R.G., 2005. Creep behavior of a Wood-Polypropylene Composite, MSc Thesis, Washington State University.
- [8] Zabihzade, S.M., Dastoorian, F. and Ebrahimi, Gh., 2010. Effect of wood species and coupling agent on mechanical properties of wood flour/HDPE composites. *Journal of Reinforced Plastic Composite*, 29(12):1814-1819.
- [9] Monteiro, S.N., Rodriquez, R.J.S., De Souza, M.V. and D'Almeida, J.R.M., 1998. Sugar cane bagasse waste as reinforcement in low cost composites. *Advanced performance Materials*, 5(3): 183-191.
- [10] Cerqueira, E.F., Baptista, C.A.R.P. and Mulinari, D.R., 2011. Mechanical behavior of polypropylene reinforced sugarcane bagasse fibers composites, *Procedia Engineering*, 10: 2046–2051.
- [11] Rodrigues, E.F., Maia, T.F., and Mulinari, D.R., 2011. Tensile strength of polyester resin reinforced sugarcane bagasse fibers modified by esterification. *Procedia Engineering*, 10:2348–2352.
- [12] Luz, S.M., Goncalves, A.R. and Del'Arco, A.P., 2007. Mechanical behavior and microstructural analysis of sugarcane bagasse fibers reinforced polypropylene composites. *Composite: Part A*, 38:1455–1461.
- [13] Luz, S.M., Del Tio, J., Rocha, G.J.M., Goncalves, A.R. and Del'Arco, A.P., 2008. Cellulose and cellulignin from sugarcane bagasse reinforced polypropylene composites: Effect of acetylation on mechanical and thermal properties. *Composite: Part A*, 39: 1362–1369.
- [14] Muzzy, J.D., 2000. Thermoplastics-properties. In: Kelly A and Zweben C (eds) *Comprehensive composite materials*, Oxford: Elsevier Science, pp. 57-76.
- [15] Schildmeyer, A.J., Wolcott, M.P., and Bender, D.A., 2009. Investigation of the temperature-dependent mechanical behavior of a polypropylene-pine composite. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 21(9): 460–466.
- [16] Tajvidi, M., Feizmand, M., Falk, R.H. and Felton, C., 2009. Effect of cellulose fiber reinforcement on the temperature dependent mechanical performance of nylon 6. *Journal of Reinforced Plastic Composite*, 28(22): 2781-2790.
- [17] Tajvidi, M., Motie, N., Rassam, G.H., Falk, R.H. and Felton, C., 2010. Mechanical performance of hemp fiber polypropylene composites at different operating temperatures. *Journal of Reinforced Plastic Composite*, 29(5): 664-674.
- [18] Standard Practice for Conditioning Plastics for Testing, Annual book of ASTM standard, D618-00, 2000.
- [19] Standard Guide for Evaluating Mechanical and Physical Properties of Wood-Plastic Composite Products, Annual book of ASTM standard, D7031-04, 2004.
- [20] Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics, American society for testing materials, Annual book of ASTM standard, D638-03, 2003.
- [21] Standard test method for compressive Properties of rigid plastics, Annual book of ASTM standard, D695-02a, 2002.
- [22] Standard test method for flexural properties of unreinforced and reinforced plastics and electrical insulating materials, D790-90, 1990.

- 
- [23] Fleck, N.A. 1997. Compressive failure of fiber composite, *Advances in Applied Mechanics*, Volume 33, San Diego, Academic Press Inc., 230p.
- [24] Wisnom, M.R., 1992. The relationship between tensile and flexural strength of unidirectional composites. *Journal of Composite Materials*, 26(8): 1173-1180.
- [25] Roylance, D. 2001. Stress strain curves, MSc Thesis, Massachusetts Institute of Technology.
- [26] National Design Specification for Wood Construction- ASD/LRFD, 2005 edition, American Forest and Paper Association.
- [27] Stark, N.M. and Rowlands, R.E. 2003. Effects of wood fiber characteristics on mechanical properties of wood/polypropylene composites. *Wood and Fiber Science*, 35(2):167-174.

## Evaluation of elevated temperature influence on mechanical properties of a commercial unrefined bagasse fiber-polypropylene composite

### Abstract

An experimental investigation was conducted to evaluate the effect of elevated temperatures, ranging from room temperature to 80°C, on mechanical characteristics of a commercial bagasse fiber/polypropylene composite. The test results were used to determine the temperature dependencies of the mechanical properties of the studied composite material at temperatures up to 80°C in order to develop temperature adjustment factors for the use in structural applications. The results have shown that as temperature increases, the material become more ductile due to increased plastic deformation gets lower stiffness and fails at higher strains. The resulted adjustment factors were different for each loading mode and the results also have indicated that the influence of elevated temperatures on values of modulus was higher than that on strengths.

**Keywords:** mechanical properties, bagasse fibers, elevated temperatures, temperature adjustment factors, polypropylene.

**F. Dastoorian**<sup>1</sup>  
**M. Layeghi**<sup>2\*</sup>  
**Gh. Ebrahimi**<sup>3</sup>  
**M. Tajvidi**<sup>4</sup>  
**S.M. Zabihzadeh**<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Ph.D, <sup>2</sup>Assistant Professor, <sup>3</sup>Professor, Department of Wood & Paper Sciences and Technology, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran

<sup>4</sup> Assistant Professor, University of Maine, Orono, ME, 04469, USA

<sup>5</sup>Associate Professor, Department of Wood and Paper Sciences and Technology, Faculty of Natural Resources, University of Sari, Sari, Iran

Corresponding author:  
mlayeghi@ut.ac.ir

Received: 2014.07.23

Accepted: 2014.11.30