

بررسی رفتار اُفت تنش چندسازه کاغذ روزنامه آسیاب شده و پلی اتیلن

بابک میرزائی^{۱*} و مهدی تجویدی^۲

*- نویسنده مسئول، کارشناس ارشد صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران

پست الکترونیک: bmirzaei@hotmail.com

۲- استادیار گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران

تاریخ پذیرش: اسفند ۱۳۹۰

تاریخ دریافت: فروردین ۱۳۹۰

چکیده

در این تحقیق رفتار اُفت تنش چندسازه‌های ساخته شده از کاغذ روزنامه آسیاب شده و پلی اتیلن سنگین بررسی شده است. چندسازه‌ها حاوی ۲۵ و ۵۰٪ پُرکننده بود که با اختلاط مذاب و قالبگیری تزریقی ساخته شد و با پلی اتیلن سنگین خالص مقایسه شده است. نتایج نشان داد که افزودن پُرکننده به پلیمر مدول و مقاومت خمشی چندسازه را بهبود می‌بخشد. در پلیمر و چندسازه تنش بیشتری برای ثابت نگه داشتن سطوح بالاتر کرنش مشاهده شد. مقایسه تنش نسبی نمونه‌ها نشان داد که اختلاف اُفت تنش نمونه‌ها با گذشت زمان افزایش می‌یابد. عامل‌های مدل پاور لاو نشان دادند که با افزایش سطح کرنش، A (بزرگی اُفت تنش) افزایش یافته و n (توان مدل) کاهش می‌یابد. بررسی رابطه سطح کرنش، عامل A و مقدار پُرکننده نشان داد که رابطه خطی تقریباً کاملی ($R^2 \sim 1$) بین درصد کرنش و A وجود دارد و با افزایش پُرکننده تأثیر سطح کرنش روی عامل A بیشتر می‌گردد.

واژه‌های کلیدی: اُفت تنش، چندسازه، کاغذ روزنامه، پلی اتیلن سنگین.

مقدمه

در چند سال اخیر چندسازه‌های ساخته شده از الیاف طبیعی و پلیمرهای ترموپلاستیک (چوب-پلاستیک) به دلایل متعددی مورد توجه دانشگاه و صنعت قرار گرفته‌اند. عمده این دلایل به مزایای الیاف طبیعی مانند ارزان بودن، در دسترس بودن، سهولت فرآوری و ... مربوط می‌شود. از دیگر سو پلی اتیلن و پلی پروپیلن که معمولاً ماتریس این چندسازه‌ها هستند نیز جزء پلیمرهایی محسوب می‌شوند که قابلیت بهینه‌سازی برای کاربردهای متنوع را دارند. هرچند این چندسازه‌ها معایبی مانند عدم

اتصال مناسب پُرکننده قطبی و ماتریس غیرقطبی و جذب آب را نیز دارند که کاربرد آنها را محدود می‌سازد. اما ویژگی‌های متنوع این مواد و روش‌های بهبود و کاهش معایب آنها موضوع تحقیقات زیادی بوده است. ولی رفتار بلند مدت و وابسته به زمان این دسته از مواد، تغییر شکل تدریجی مواد تحت بار ثابت یا خزش^۱ و کاهش بار لازم برای تغییر شکل ثابت یا اُفت تنش^۲، کمتر مورد توجه قرار گرفته‌اند. از آنجا که الیاف طبیعی و مخصوصاً پلیمرهای

1 - Creep

2 - Stress relaxation

در دماهای بالا کاهش می‌یابد. آنها همچنین از مدل سه عنصری مکسول برای پیش‌بینی رفتار آفت تنش چندسازه‌های چوب پلاستیک استفاده کردند. Sreekala و همکاران (۲۰۰۱) در تحقیقی نشان دادند که هیبریدسازی الیاف طبیعی با الیاف شیشه باعث کاهش نرخ آفت تنش چندسازه‌ها می‌گردد.

هدف این مطالعه بررسی رفتار آفت تنش چندسازه‌های پلی‌اتیلنی حاوی پُرکننده کاغذ روزنامه آسیاب شده و تأثیر مقدار پُرکننده و سطح کرنش بر آن است. همچنین از مدل پاورلا برای پیش‌بینی آفت تنش پلیمر و چندسازه‌ها استفاده شد و عامل‌های آن تعیین شد و میزان توافق آن با داده‌های تجربی محاسبه شد.

مواد و روشها

در این مطالعه از HDPE با شاخص جریان مذاب $40 \text{ g}/10 \text{ min}$ و دانسیته $0.952 \text{ g}/\text{cm}^3$ با نام تجاری Chevron Hid 9035 به‌عنوان ماتریس پلیمری استفاده شد. آرد کاغذ روزنامه مورد نیاز برای این بررسی از آسیاب کردن کاغذ روزنامه کهنه بدست آمد. پلی‌اتیلن مالئیک‌دار شده^۵ با نام Fusband C به‌عنوان عامل جفت‌کننده به ترکیب چندسازه افزوده شد (جدول ۱).

جدول ۱- ترکیب نمونه‌های مورد مطالعه

کد	درصد پُرکننده	درصد پلیمر	درصد جفت‌کننده
A	۰	۱۰۰	۰
B	۲۵	۷۴	۱
C	۵۰	۴۸	۲

گرمانرم موادی ویسکوالاستیک هستند مطالعه رفتار وابسته به زمان آنها از اهمیت خاصی برخوردار است. از طرف دیگر تقاضا برای گسترش کاربرد این مواد- که عمدتاً نیاز به تحمل بار در طول زمان دارند- لزوم چنین مطالعاتی را دو چندان می‌سازد. بررسی آفت تنش ما را قادر می‌سازد تا میزان کاهش مقاومت چندسازه را در طول زمان اندازه‌گیری کرده و اطلاعات مفیدی را برای طراحی عناصر تحت تنش فراهم کنیم.

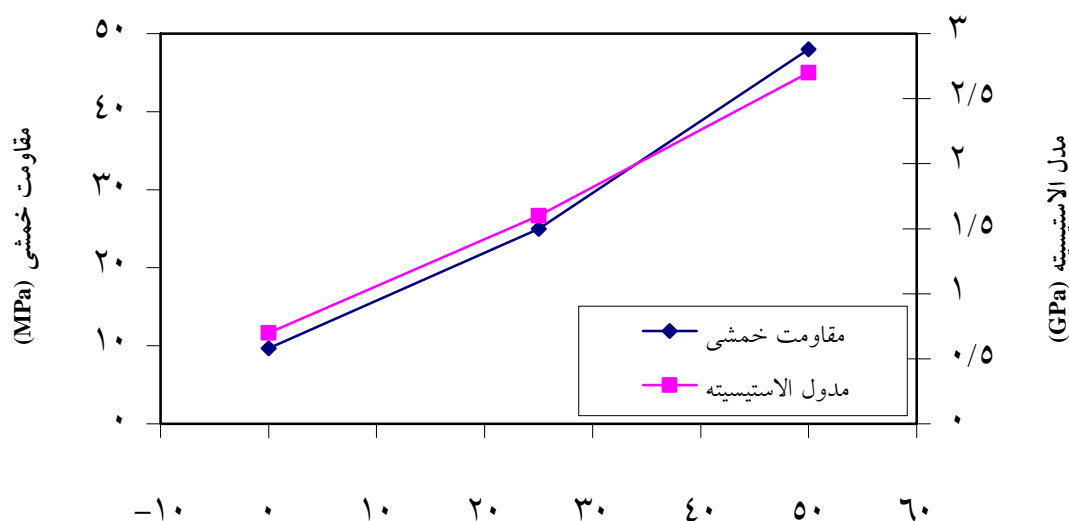
مدل‌های مختلفی برای پیش‌بینی رفتار وابسته به زمان مواد ارائه شده است. هر کدام قابلیت‌ها و ویژگی‌های خاصی دارند و با توجه به کاربرد مورد استفاده قرار گرفته‌اند. از جمله معروفترین این مدل‌ها مدل مکسول^۱، مدل کلونین-ووینگت^۲، مدل بورگر^۳ و مدل پاورلا^۴ هستند. مدل پاورلا ساده‌ترین مدل ارائه شده است و محبوبیت بسیاری یافته است ($\sigma_t = A.t^n$) که در آن σ تنش در زمان t ، A شیب و n توان مدل است. عامل‌های A و n به طور تجربی تعیین می‌شوند).

در زمینه آفت تنش چندسازه‌های چوب پلاستیک اخیراً مطالعاتی انجام شده و جنبه‌های مختلف این رفتار بررسی شده است. Dastoorian و همکاران (۲۰۰۸) رفتار خزش و آفت تنش چندسازه چوب پلاستیک را بررسی کرده و رفتار طولانی مدت را به نحو رضایت‌بخشی پیش‌بینی کرده‌اند. George و همکاران (۱۹۹۸) گزارش کردند که میزان آفت تنش با افزایش مقدار پُرکننده کاهش یافته و با افزایش درصد کرنش کاهش می‌یابد. Bhattacharyya و همکاران (۲۰۰۶) نشان دادند که وجود الیاف طبیعی آفت تنش را محدود می‌کند ولی این توانایی

- 1 - Maxwell
- 2 - Kelvin-Voigt
- 3 - Burger
- 4 - Power law

به‌عنوان مرجع محاسبه و درصد کرنش اعمال شونده در نظر گرفته شدند. برای هر ترکیب ۳۰، ۴۰ و ۵۰٪ حداکثر کرنش اعمال شد و در طول آزمایش (۲۴۰ ثانیه) ثابت نگه‌داشته شد. کاهش بار لازم برای ثابت نگه‌داشتن کرنش در طول زمان ثبت گردید و به مقادیر تنش تبدیل شد. آزمون توسط دستگاه Instron 4486 و سلول بارگذاری ۱۰KN انجام شد. طول دهانه ۳۶ mm، ارتفاع نمونه‌ها ۲mm و عرض نمونه‌ها ۸ mm بود.

پلیمر، الیاف کاغذ روزنامه و جفت‌کننده مطابق با جدول ۱ توزین شده و اختلاط مذاب آنها انجام گردید. سپس مخلوط حاصل پس از سرد شدن توسط یک خردکن آزمایشگاهی به گرانول تبدیل شد و پس از آن قالب‌گیری تزریقی نمونه‌ها انجام شد. قبل از تزریق مواد به مدت حداقل ۴ ساعت در دمای ۱۰۵°C خشک شدند. نمونه‌های ساخته شده قبل از آزمون به مدت ۱۴ روز در دمای محیط مشروط‌سازی شدند. مقادیر حداکثر کرنش نمونه‌ها که در آزمون خمش سه نقطه‌ای بدست می‌آید



الیاف کاغذ روزنامه (%)

شکل ۱- تأثیر افزودن الیاف کاغذ روزنامه روی مقاومت و مدول چندسازه

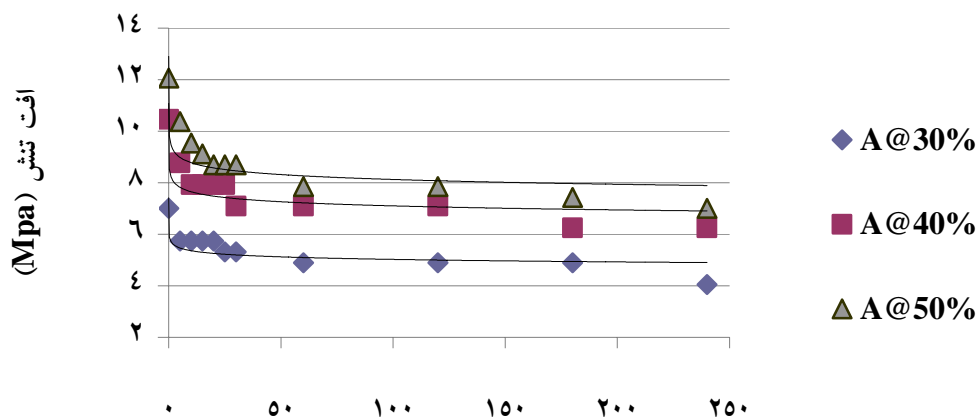
توجهی افزایش یافته است. به طوری که مقاومت خمشی پلی‌اتیلن خالص از حدود ۱۱ MPa به حدود ۴۵ MPa در چندسازه حاوی ۵۰٪ پُرکننده افزایش یافته است و در مورد مدول خمشی این افزایش از حدود ۰/۵ GPa به

نتایج

شکل ۱ تأثیر افزودن پودر کاغذ روزنامه را بر روی مقاومت و مدول خمشی نمونه‌ها نشان می‌دهد، مقاومت و مدول خمشی نمونه‌ها با افزایش پُرکننده به‌مقدار قابل

طور که انتظار می‌رود مقادیر بیشتر تنش برای ثابت نگه داشتن درصد‌های بالاتر کرنش لازم هستند و با کاهش درصد کرنش از ۵۰٪ به ۳۰٪ تنش اولیه نیز از حدود ۱۲ MPa به حدود ۷ MPa می‌رسد. خطوط پیوسته در شکل ۲ توسط مدل پاور لا محاسبه شده‌اند و توافق نسبتاً خوبی را با داده‌های تجربی نشان می‌دهند (جدول ۲). به طوری که کمترین مقدار R^2 مربوط به کمترین سطح کرنش می‌باشد.

حدود ۲/۸ GPa است؛ که با توجه به زیادتر بودن مدول خمشی الیاف طبیعی و متاثر شدن مدول خمشی چندسازه از مدول اجزاء تشکیل‌دهنده آن غیر منتظره نیست (Jayaraman and Bhattacharyya 2004). افزایش مقاومت خمشی با افزایش پُرکننده میزان تقریباً ثابتی را نشان می‌دهد ولی میزان افزایش مدول خمشی با افزایش پُرکننده از ۲۵ به ۵۰٪ بیشتر می‌شود. تأثیر افزایش درصد کرنش اعمال شده روی اُفت تنش پلی‌اتیلن سنگین در شکل ۲ دیده می‌شود. همان

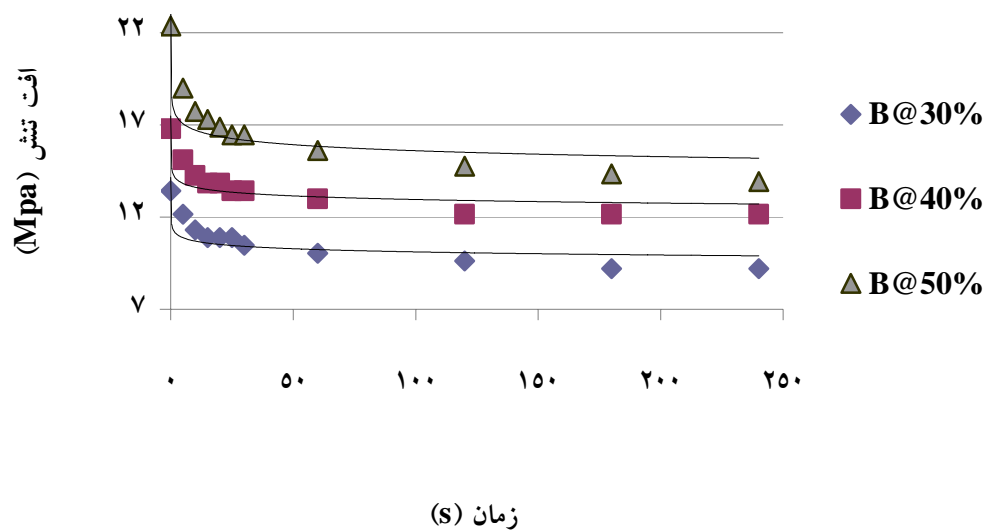


زمان (s)

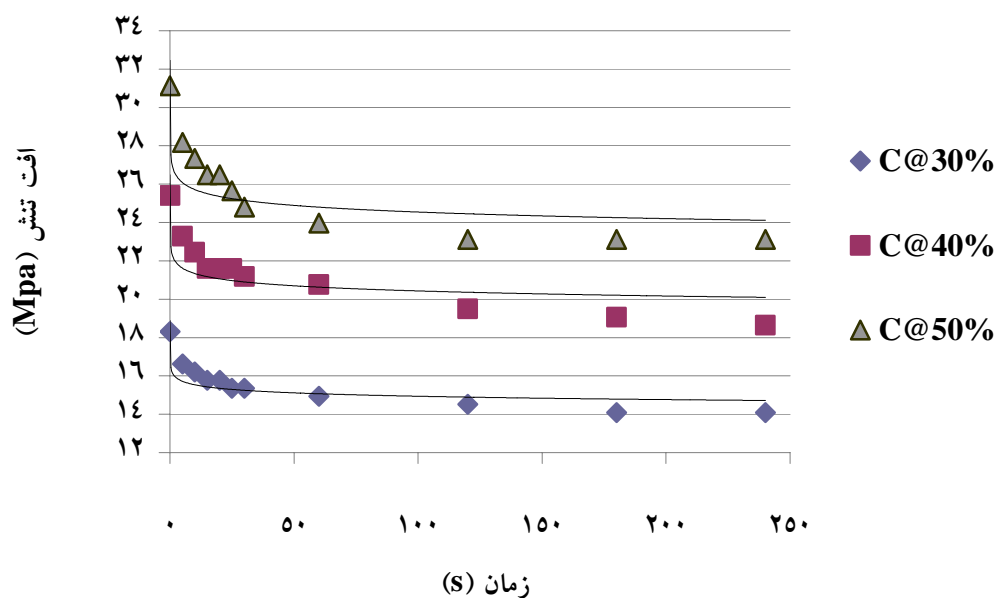
شکل ۲- اُفت تنش پلی‌اتیلن در سطوح مختلف کرنش (خطوط پیوسته توسط مدل ارائه شده‌اند)

(($t=0$) چندسازه در مقایسه با پلیمر خالص کمتر است که دلیل آن بهبود مقاومت خمشی چندسازه است. همان طور که جدول ۲ نشان می‌دهد توافق خوبی بین نتایج مشاهده شده و مقادیر پیش‌بینی شده وجود دارد.

شکل ۳ رفتار اُفت تنش چندسازه‌های دارای ۲۵٪ پُرکننده را در درصد‌های مختلف کرنش نشان می‌دهد. همانند اُفت تنش پلی‌اتیلن، در این حالت نیز افزایش کرنش باعث افزایش تنش می‌گردد. Dastoorian et al., 2008 نیز نتیجه مشابهی را گزارش کرده‌اند. تنش اولیه



شکل ۳- اُفت تنش چندسازه‌های دارای ۲۵٪ پُرکننده در سطوح مختلف کرنش (خطوط پیوسته توسط مدل ارائه شده‌اند)

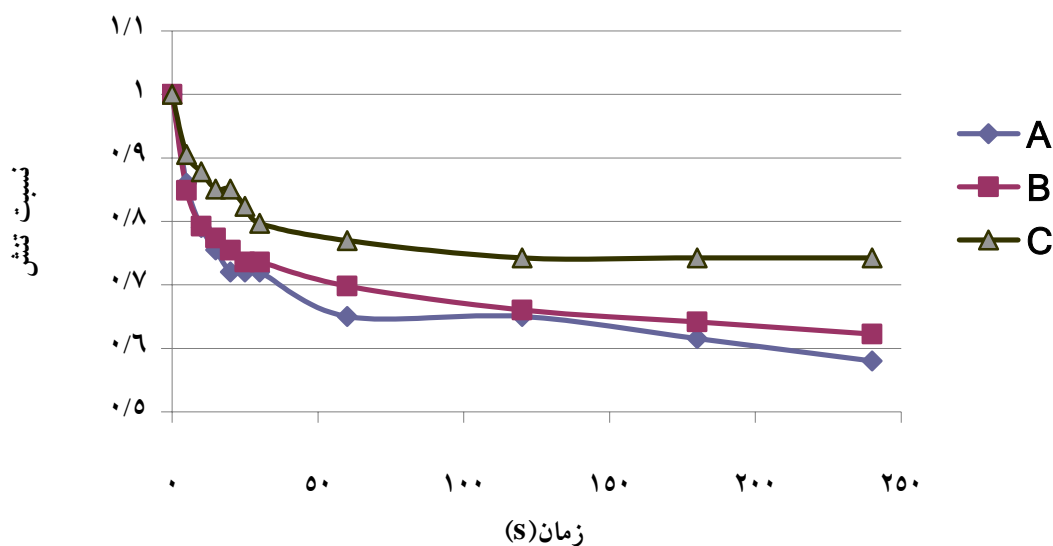


شکل ۴- اُفت تنش چندسازه‌های دارای ۵۰٪ پُرکننده در سطوح مختلف کرنش (خطوط پیوسته توسط مدل ارائه شده‌اند)

پلاستیک) رفتار ویسکوالاستیک دارند، اما رفتار الاستیک پُرکننده سلولزی بیشتر از بخش پلاستیکی است، بنابراین انتظار می‌رود با افزایش بخش سلولزی خزش کاهش یابد، همان‌طور که دیده می‌شود این موضوع برای اُفت تنش چوب‌پلاستیک نیز صادق است. معمولاً اُفت تنش رابطه مستقیمی با مقدار مدول دارد و همان‌طور که نتایج این بررسی نشان می‌دهد با استفاده بیشتر از پُرکننده، مدول چندسازه افزایش یافته و اُفت تنش کمتری نیز مشاهده می‌شود. نکته قابل ذکر دیگر توسعه اختلاف اُفت تنش نسبی نمونه‌های مختلف با گذشت زمان است به طوری که نسبت تنش در زمان صفر برای همه نمونه‌ها واحد است ولی گذشت زمان نشان می‌دهد که اُفت تنش پلیمر خالص و چندسازه دارای ۵۰٪ کاغذ روزنامه کاملاً متمایز است.

رفتار اُفت تنش چندسازه‌های دارای ۵۰٪ پُرکننده در نسبت‌های مختلف کرنش در شکل ۴ دیده می‌شود. در اینجا نیز تنش بیشتری برای ثابت نگه‌داشتن کرنش بیشتر لازم است. همان‌طور که جدول ۲ نشان می‌دهد مقادیر R^2 خوبی برای منحنی‌های مدل بدست آمده است.

در شکل ۵ کاهش نسبت تنش^۱ نمونه‌های مختلف در ۵۰٪ حداکثر کرنش ترسیم شده است. نسبت تنش از نرمال‌سازی مقادیر تنش با تقسیم آنها بر تنش اولیه بدست آمد. همان‌طور که مشاهده می‌شود کمترین و بیشترین مقدار اُفت تنش نسبی به ترتیب به چندسازه دارای ۵۰٪ پُرکننده و پلیمر خالص مربوط است، به عبارت دیگر اُفت تنش نسبی با افزایش پُرکننده کاهش می‌یابد. مرزناکی و همکاران (۱۳۸۸) اظهار داشتند که هر دو ماده تشکیل‌دهنده مواد چوب‌پلاستیک (یعنی پُرکننده سلولزی و

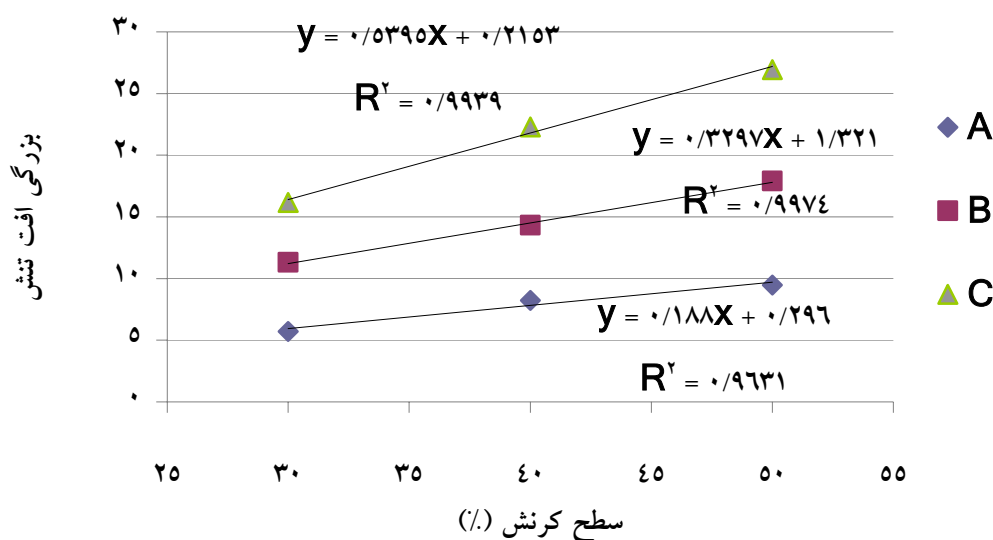


شکل ۵- مقایسه کاهش تنش نسبی چندسازه‌های دارای ۲۵ و ۵۰٪ پُرکننده و پلیمر خالص در ۵۰٪ کرنش حداکثر

1 - Stress Ratio

جدول ۲- شاخص‌های محاسبه شده مدل

R^2	n	A	درصد کرنش	درصد پُرکننده
۰/۶۷۱	-۰/۰۲۸	۵/۷۲۲	۳۰	
۰/۷۶۴	-۰/۰۳۲	۸/۲۳۹	۴۰	۰
۰/۷۵۶	-۰/۰۳۳	۹/۴۸۱	۵۰	
۰/۷۲۸	-۰/۰۲۴	۱۱/۳۱۱	۳۰	
۰/۷۸۱	-۰/۰۲۲	۱۴/۳۱۶	۴۰	۲۵
۰/۸۰۳	-۰/۰۰۳	۱۷/۹۰۶	۵۰	
۰/۷۹۵	-۰/۰۱۷	۱۶/۱۵۵	۳۰	
۰/۷۱۶	-۰/۰۱۹	۲۲/۲۸۱	۴۰	۵۰
۰/۷۳۸	-۰/۰۰۲	۲۶/۹۴۴	۵۰	



شکل ۶- وابستگی عامل A به سطح کرنش اعمال شده برای هر ترکیب

پُرکننده، A (بزرگی اُفت تنش^۱) نیز افزایش می‌یابد. برای نشان دادن رابطه بین بزرگی اُفت تنش با سطح کرنش و مقدار پُرکننده شکل ۶ ترسیم شد. این شکل رابطه خطی تقریباً کاملی ($R^2 \sim 1$) بین درصد کرنش و A نشان

جدول ۲ شاخص‌های محاسبه شده مدل و مقدار R^2 آنها را نشان می‌دهد. همان‌طور که دیده می‌شود کلاً مدل توانایی نسبتاً خوبی برای پیش‌بینی دارد، هرچند انجام اصلاحاتی روی آن می‌تواند مقادیر R^2 را بهبود بخشد. این نتایج نشان می‌دهند که کلاً با افزایش سطح کرنش A افزایش و n کاهش می‌یابد. همچنین با افزایش مقدار

1 - stress relaxation amplitude

کلاً با افزایش سطح کرنش، A افزایش و n کاهش می‌یابد. بررسی رابطه سطح کرنش، عامل A و مقدار پُرکننده نشان داد که رابطه خطی تقریباً کاملی ($R^2 \sim 1$) بین درصد کرنش و A وجود دارد، همچنین تأثیر سطح کرنش روی بزرگی اُفت تنش (A) با افزایش پُرکننده بیشتر می‌گردد.

منابع مورد استفاده

- مرزناکی، م. م.، کاظمی نجفی، س.، چهارمحالی، م.، و حاج حسینی، ر. ۱۳۸۸. مطالعه رفتار خزشی مواد مرکب ساخته شده از مخلوط آرد تخته خرده چوب و تخته فیبر نیمه سنگین- ضایعات پلی‌اتیلن سنگین (HDPE) و تأثیر جذب آب بر آن. مجله تحقیقات علوم چوب و کاغذ ایران. جلد ۲۴، شماره ۲، صفحه ۲۰۵-۱۹۴.
- Bhattacharyya, D., Manikath, J., and Jayaraman. K. (2006). Stress Relaxation of Woodfiber-Thermoplastic Composites, *Journal of Applied Polymer Science*, 102: 401-407.
- Dastoorian, F., Tajvidi, M., and Ebrahimi, G. (2008). Evaluation of Time Dependent Behavior of a Wood Flour/High Density Polyethylene Composite, *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 29: 132-143.
- George, J. Sreekala, M. S., Thomas, S., Bhagawan, S. S., and Neelakantan, N. R. (1998). Stress Relaxation Behavior of Short Pineapple Fiber Reinforced Polyethylene Composites, *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 17: 651-772.
- Jayaraman, K., Bhattacharyya, D., 2004 Mechanical performance of wood fibre-waste plastic composite materials, *Resources, Conservation and Recycling*, 41, 307-319.
- Sreekala, M. S., Kumaran. M. G., Reethamma, J., and Thomas, S. (2001). Stress relaxation behaviour in composites based on short oil-palm fibers and phenol formaldehyde resin, *Composites Science and Technology*, 61: 1175-1188.

می‌دهد. همچنین نکته قابل توجه افزایش شیب خط با افزایش مقدار کاغذ آسیاب شده است، به عبارت دیگر تأثیر سطح کرنش روی بزرگی اُفت تنش با افزایش پُرکننده بیشتر می‌گردد.

بحث

با توجه به اینکه پلیمرهای گرمانرم و الیاف طبیعی رفتاری وابسته به زمان دارند، برای تخمینی واقع‌بینانه از کارایی چندسازه‌های چوب پلاستیک بررسی کاهش نیروی لازم برای ثابت نگه‌داشتن تغییر شکل معینی در طول زمان لازم به نظر می‌رسد. از طرف دیگر منابع لیگنوسولوزی مختلفی برای ساخت این مواد مورد توجه بوده‌اند، کاغذ روزنامه (که عمدتاً متشکل از خمیر کاغذ مکانیکی است) شباهت ساختاری زیادی به چوب داشته و شامل الیافی با ضریب ظاهری مناسب است. بررسی رفتار اُفت تنش چندسازه‌های دارای این پُرکننده موضوع این مطالعه است. نتایج این بررسی نشان داد که افزودن کاغذ روزنامه آسیاب شده به ماتریس پلی‌اتیلن تا سطح ۵۰٪، مدول و مقاومت‌خمش چندسازه را بهبود می‌بخشد. در پلیمر و چندسازه تنش بیشتری برای ثابت نگه‌داشتن سطوح بالاتر کرنش مشاهده شد. همچنین با مقایسه تنش نسبی نمونه‌ها مشخص شد که اختلاف موجود با گذشت زمان افزایش می‌یابد. مقادیر R^2 توافق نسبتاً خوبی بین داده‌های تجربی و مقادیر پیش‌بینی شده مدل پاور لاور نشان دادند. عامل‌های محاسبه شده مدل نشان دادند که

Investigation on the stress relaxation behavior of milled newsprint filled polyethylene composite

Mirzaei, B.^{1*} and Tajvidi, M.²

1*- Corresponding author, MSc., Wood and Paper Science and Technology Department, Natural Resources Faculty, Tehran University, Email: bmirzaei@hotmail.com

2-Assistant Professor, Wood and Paper Science and Technology Department, Natural Resources Faculty, Tehran University.

Received: May, 2011

Accepted: March, 2012

Abstract

Stress relaxation behavior of milled newsprint/HDPE composite containing coupling agent was studied. Composites containing 25 and 50% filler in weight were produced, and were compared to neat polymer. Melt blending followed by injection molding was the manufacturing process. Results showed that incorporating filler to polymer increases the flexural strength and modulus. It was observed that higher stress is needed to maintain higher strain levels. Furthermore, comparing the stress ratio patterns revealed that the difference among relaxation of different samples develops over time. Power law computed parameters showed that higher strain level results in higher stress relaxation amplitude (A) and lower time exponent (t). It was also found that, almost complete linear relationship could be established between strain level and parameter A, and the effect of strain level on parameter A is more pronounced at higher filler contents.

Keywords: Stress, composites, melt blending, flexural strength.