



بررسی اثر اندازه ذره چوب بر خواص فیزیکی - مکانیکی و رفتار رئولوژیکی کامپوزیت پلی پروپیلن - چوب

اسماعیل قاسمی^{۱*}، حامد عزیزی^۱، پروین احسانی نمین^۲

۱- تهران پژوهشگاه پلیمر و پتروشیمی ایران، صندوق پستی ۱۴۹۶۵/۱۱۵

۲- تهران، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران شمال، دانشکده شیمی، صندوق پستی ۱۹۵۸۵/۹۳۶

دریافت: ۸۶/۳/۲۰، پذیرش: ۸۶/۹/۲۷

چکیده

کامپوزیت‌های چوب - پلاستیک به عنوان منبع جدید مواد اولیه در صنایع مختلف مطرح شده‌اند و کاربردهای بسیار زیادی در صنایع خودرو، ساختمان و مبلمان پیدا کرده‌اند. در این پژوهش، کامپوزیتی از چوب - پلاستیک با مقدار ۴۰ درصد وزنی چوب در سه سطح از اندازه ذرات ۱۰۰، ۲۵۰ و ۴۰۰ μm در اکسترودر دو مارپیچ هم سوگرد تهیه شد. خواص کششی (مدول، استحکام و ازدیاد طول تا پارگی)، شاخص جریان مذاب و دمای واپیچش گرمایی به عنوان تابعی از اندازه ذرات چوب بررسی شد. افزون بر این، رفتار رئولوژیکی مذاب این کامپوزیت نیز مطالعه شد. با بررسی نتایج مشخص شد که چوب با اندازه ذرات درشت‌تر مقدار مدول را افزایش و مقدار استحکام تا پارگی را کاهش می‌دهد، ولی بر ازدیاد طول تا پارگی بی‌اثر است. شاخص جریان مذاب با کاهش اندازه ذرات کم شده و دمای واپیچش گرمایی مستقل از اندازه ذرات است. استحکام ضربه با افزایش اندازه ذرات چوب کاهش می‌یابد. پارامترهای رئولوژیکی در حالت دینامیک مانند گرانروی مختلط و مدول ذخیره با کاهش اندازه ذرات افزایش یافته و $\tan \delta$ تقریباً در مقدار ثابتی باقی می‌ماند.

واژه‌های کلیدی

کامپوزیت‌های چوب - پلاستیک، خواص فیزیکی - مکانیکی، رئولوژی، شاخص جریان مذاب، دمای واپیچش گرمایی

* مسئول مکاتبات، پیام‌نگار:

i.ghasemi@ippi.ac.ir

Investigating the Effect of Wood Particle Size on the Rheology and Physical-Mechanical Properties of Wood-Polypropylene Composite

I. Ghasemi^{1*}, H. Azizi¹ and P. Ehsani Namin²

1. Iran Polymer and Petrochemical Institute, P.O. Box: 14965/115, Tehran, Iran

2. Department of Chemistry, Tehran North Unit, Islamic Azad University,

P.O. Box: 19585/936, Tehran, Iran

Received 10 June 2007; accepted 18 December 2007

Abstract

The growing interest in using natural fibers as reinforcing agents of polymer-based composites is mainly due to their advantages such as lower cost, lower density, ease of preparation, lower energy requirements for processing, biodegradability, wide availability and relative non-abrasiveness over traditional reinforcing fibers such as glass and carbon. In this study, wood-plastic composite (WPC) containing 40 wt % of wood was prepared using an intermeshing co-rotating twin screw extruder. The effect of wood particle size in three levels (100, 250, and 400 μm) was studied on the physical-mechanical properties of WPC such as: tensile properties, heat distortion temperature (HDT), melt flow index (MFI) and notched Izod impact resistance. In addition, the rheological behaviors were studied as function of wood particle size. The data showed an increase in the modulus and a decrease in the tensile strength with increase of wood particle size while there was no considerable change in the elongation-at-break. The results also showed that MFI decreased and impact resistance increased with decreases of wood particle size. HDT was independent from variation of wood particle size. Complex viscosity and storage modulus increased with decrease of wood particle size while $\tan \delta$ did not change with variation of particle size.

Key Words

wood-plastic composites, physical-mechanical properties, rheology, melt flow index, heat distortion temperature

(* To whom correspondence should be addressed.

E-mail: i.ghasemi@ippi.ac.ir

مقدمه

امروزه از کامپوزیت‌های چوب - پلاستیک در صنایع خودروه، ساختمان‌سازی و مبلمان به مقدار بسیار زیادی استفاده می‌شود. این کامپوزیت‌ها مورد توجه بسیار زیاد پژوهشگران در مراکز علمی قرار گرفته است و آنان در صدد توسعه علمی، فناوری و کاربرد این مواد هستند [۱،۲]. پژوهشگران زیادی روی خواص فیزیکی و مکانیکی این کامپوزیت‌ها مطالعه کرده و سعی کرده‌اند تا ارتباطی منطقی بین این خواص و عوامل مؤثر از قبیل شرایط اختلاط، فرمول‌بندی آمیزه، نوع و ساختار چوب، نوع سازگار کننده و شرایط خشک کردن چوب به دست آورند [۳-۶].

اثر عامل سازگار کننده بین پلیمر با ساختار غیر قطبی و آب‌گریز و چوب با ساختار قطبی و آب‌دوست روی خواص مکانیکی کامپوزیت توسط پژوهشگران زیادی گزارش شده است. شاید متداول‌ترین این سازگار کننده‌ها از نوع پلی پروپیلن پیوند خورده با مالئیک انیدرید (PP-g-MA) باشد. با این وجود، گزارش استفاده از مواد سازگار کننده سیلانی، ایزوسیانات و استیرن - اتیلن - بوتیلن - استیرن پیوند خورده با مالئیک انیدرید (SEBS-g-MA) نیز ارائه شده است [۷-۹]. افزون بر این، برای افزایش استحکام بین سطح چوب و پلیمر اصلاح چوب به روش‌های مختلف فیزیکی و شیمیایی نیز گزارش شده است. همه این پژوهشگران وجود عامل سازگار کننده برای افزایش خواص مکانیکی را ضروری می‌دانند و بسیاری از آنان در صدد پیدا کردن ساز و کار عملکرد این سازگار کننده‌ها با روش‌هایی نظیر طیف‌بینی زیر قرمز و فرابنفش برآمده‌اند [۱۰].

علاوه بر نوع و مقدار سازگار کننده، نوع چوب و ساختار آن نیز عامل مؤثری بر خواص فیزیکی - مکانیکی است. ساختار شیمیایی چوب معمولاً از چهار جزء لیگنین، سلولوز، همی سلولوز و مواد قابل استخراج تشکیل شده است. مقدار درصد این اجزاء بسته به نوع چوب متغیر است و معمولاً چوب به دو نوع سخت و نرم دسته‌بندی می‌شود [۱۱].

کریمی و همکاران با لیگنین زدایی از چوب و آمیزه‌سازی آن با

جدول ۱- مشخصات مواد مورد استفاده.

مواد	شرکت سازنده	نام تجاری	مقدار انیدرید پیوند خورده (wt%)	چگالی (g/cm ³)	شاخص جریان مذاب* (g/10 min)
پلی پروپیلن	پتروشیمی اراک (ایران)	EPD-60R	—	۰/۹	۰/۳۵
پلی پروپیلن پیوند خورده با مالئیک انیدرید	Solvay (بلژیک)	Priex 20070	۰/۱	۰/۹۱	۶۴
روی استئارات	Imperial Chemical (تایلند)	—	—	توده) ۰/۲-۰/۳	—

* شاخص جریان مذاب در دمای ۲۳۰°C و با وزنه ۲/۱۶ kg اندازه‌گیری شده است.

پلی پروپیلن تغییر خواص آمیزه را بررسی کرده‌اند. آنها گزارش کرده‌اند که با کاهش لیگنین به عنوان بخش بی شکل چوب درصد بلورینگی زیاد شده و مدول به مقدار بیشتری افزایش می‌یابد [۱۲]. مؤلفان این مقاله نیز اثر اندازه ذره چوب، مقدار سازگار کننده، روان کننده و درصد چوب را روی خواص فیزیکی - مکانیکی و رئولوژیکی مذاب و همچنین اثر هیبرید کردن پرکننده چوب با الیاف کنف را مورد مطالعه قرار داده‌اند [۱۳-۱۵]. در گزارش‌های منتشر شده آمده است، اگر چوب به شکل الیاف و دارای نسبت منظر باشد، اثر تقویت‌کنندگی بسیار زیادی دارد و سبب افزایش قابل توجه مدول می‌شود که این افزایش مدول به کمک معادله هالپین - تسای نیز قابل پیش‌بینی است [۱۶-۱۸]. Strak و همکاران روی اثر اندازه و توزیع ذرات چوب بر خواص فیزیکی - مکانیکی کامپوزیت‌های چوب - پلاستیک مطالعه و تغییرات این خواص را با تغییرات اندازه ذره گزارش کرده‌اند. آنها بهترین اندازه ذرات برای یک فرایند خوب و خواص مناسب را ۱۰۰ میکرون اعلام کردند [۱۹،۲۰].

در این پژوهش، اثر سه سطح از اندازه ذرات چوب (۲۵۰، ۴۰۰ و ۶۰۰ μm) در یک سطح از مقدار چوب (۴۰ درصد وزنی) روی خواص فیزیکی - مکانیکی (خواص کششی، مقاومت ضربه، شاخص جریان مذاب و دمای واپاش گرمایی) و رئولوژی کامپوزیت پلی پروپیلن - چوب بررسی شده است. ذکر این نکته ضروری است که پلی پروپیلن انتخابی در این پژوهش با شاخص جریان مذاب کم است که در مقالات و کارهای پژوهشی منتشر شده کمتر مورد استفاده قرار گرفته است.

تجربی

مواد

در جدول ۱ مشخصات مواد استفاده شده در این پژوهش آمده است. شایان ذکر است که از پلی پروپیلن پیوند خورده با مالئیک انیدرید

آزمون‌ها

آزمون کشش مطابق استاندارد ASTM D 638 به وسیله دستگاه Instron با سرعت کشش 5 cm/min انجام شد. مقاومت ضربه نمونه‌ها براساس استاندارد ASTM D 256 در حالت شکاف دار و ایزود در دمای محیط اندازه گیری شد. آزمون دمای واپیچش گرمایی براساس استاندارد

(PP-g-MA) به عنوان سازگار کننده (۲ درصد وزنی) و از روی استتارات به عنوان روان کننده (۱ درصد وزنی) در همه نمونه‌ها به مقداری ثابت استفاده شده است. اعداد مورد استفاده در کدبندی نمونه‌ها بیان گر اندازه ذرات چوب بر حسب میکرون است.

برای تهیه چوب در اندازه‌های مورد نظر از توری‌های مش بندی شده در آسیاب استفاده شده است، به این نحو که با دو توری با اندازه مش‌های نزدیک به اندازه مورد نظر، چوب‌های درشت‌تر و ریزتر جدا شده و با درصد خطای خوبی (حدود ۱۵٪) چوب تک اندازه به دست آمده است. شکل ۱ ریزنگار میکروسکوپ الکترونی از چوب با سه اندازه ذره مختلف را نشان می‌دهد.

دستگاه‌ها

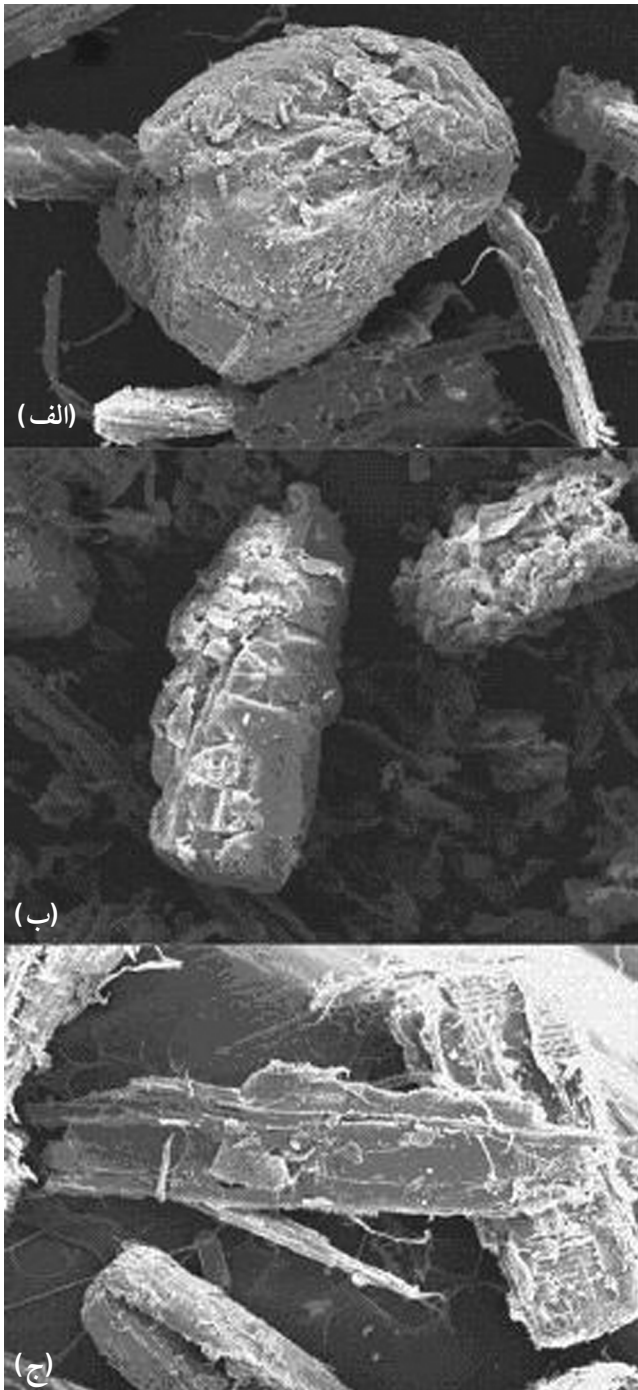
در این پژوهش، اکسترودر دو ماریچ همسوگرد ساخت شرکت Werner Pfliderer مدل ZSK25، دستگاه تزریق Krauss-Mafeai، دستگاه Instron 6025 برای آزمون کشش، دستگاه ضربه مدل ۵۱۰۲ ساخت شرکت Zwick برای اندازه‌گیری مقاومت ضربه نمونه‌ها، دستگاه Atsfaar ساخت ایتالیا برای اندازه‌گیری دمای واپیچش گرمایی، دستگاه Zwick برای اندازه‌گیری MFI نمونه‌ها، میکروسکوپ الکترون پویشی مدل XL30 ساخت شرکت Philips و رئومتر MCR 300 ساخت شرکت Physica به کار گرفته شده‌اند.

روش‌ها

تهیه نمونه‌ها

نمونه‌های دارای ۴۰ درصد وزنی چوب در سه سطح مختلف از نظر اندازه به وسیله اکسترودر دو ماریچ هم سو گرد با نسبت طول به قطر ۴۰ و قطر ۲۵ mm تهیه شدند. قبل از عملیات اکستروژن، به منظور رطوبت زدایی از چوب‌ها، نمونه‌ها به مدت ۴ h در دمای ۸۰°C قرار داده شدند.

سامانه خوراک دهی وزنی این دستگاه متعلق به شرکت Brabender بود. این اکسترودر دارای ۶ ناحیه گرمایی است که پروفیل دمایی آن به شکل ۱۶۰، ۱۶۵، ۱۷۰، ۱۸۰، ۱۸۵ و ۱۹۰°C و دور ماریچ ۴۰۰ rpm بود. لازم به ذکر است، پلی پروپیلن به همراه روان کننده و سازگار کننده از محل خوراک دهی اصلی وارد اکسترودر شده و چوب از محل خوراک دهی جانبی به پلیمر مذاب اضافه شد. نسبت فرمول بندی به کمک دستگاه خوراک دهی وزنی تنظیم شد که دو خوراک دهنده اصلی و جانبی را کنترل کرد. مواد اکسترودر شده در حمام آب، سرد شده و به وسیله دستگاه خردکن به شکل دانه درآمد. دانه‌های موجود پس از خشک شدن در دمای ۸۰°C به مدت ۲۴ h به وسیله دستگاه تزریق به نمونه‌های مناسب برای آزمون‌های مورد نظر تزریق شدند.



شکل ۱- ریزنگار SEM با سه اندازه ذره چوب: (الف): ۱۰۰ μm، (ب) ۲۵۰ μm و (ج) ۴۰۰ μm.

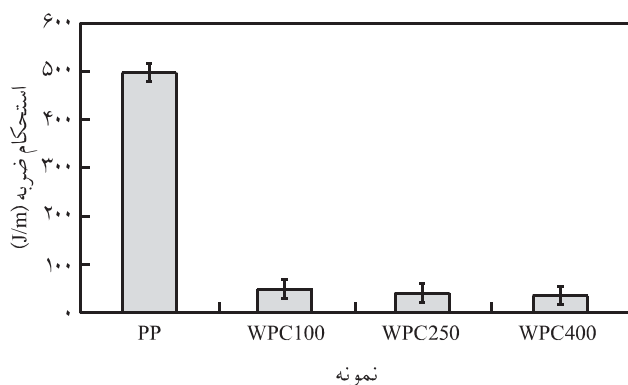
شاید بدین دلیل باشد که با ریزتر شدن ذرات و کروی شدن آنها انتقال تنش بین ذرات به طور همگن تر انجام گرفته و باعث می شود تا کامپوزیت در تنش های بیشتر پاره شود. گزارش های زیادی درباره اثر مثبت یا منفی اندازه ذره چوب روی استحکام کششی کامپوزیت منتشر شده است که دلیل این اختلافات می تواند نحوه اندازه گیری ذرات چوب، منابع مختلف تهیه چوب و انواع نسبت منظر به کار رفته باشد [۱۹،۲۰].

با افزودن چوب به عنوان پرکننده به پلی پروپیلن به طور عمومی کاهش می یابد. درصدهای زیاد طول تا پارگی مشاهده می شود. به طور کلی، ماهیت چوب به نحوی است که رفتار تنش - کرنش پلی پروپیلن را از حالت چقرمه به حالت شکننده تبدیل می کند. با ریزتر شدن اندازه ذرات درصدهای زیاد طول تا پارگی افزایش می یابد، البته این تغییرات معنی دار نیست.

استحکام ضربه

وجود چوب به عنوان ماده ای با مدول زیاد (حدود ۱۰ GPa) باعث شکنندگی کامپوزیت چوب - پلاستیک می شود. گزارش های منتشر شده حاکی از آن است که مقدار این شکنندگی می تواند تابعی از مقدار و اندازه ذرات چوب و مقدار سازگار کننده باشد.

شکل ۲ تغییرات استحکام ضربه کامپوزیت ها را در برابر اندازه ذره چوب نشان می دهد. همان طور که از شکل مشخص است، با ریزتر شدن اندازه ذرات چوب، استحکام ضربه افزایش می یابد. این مطلب به دلیل انتقال بهتر تنش وارد شده به وسیله ذرات چوب ریزتر است. به عبارتی، ذرات ریزتر نسبت به ذرات درشت تر قابلیت ایجاد محیطی با پیوستگی بیشتر را دارند و بهتر تنش های وارد شده را تحمل می کنند. از طرفی می توان گفت، شاید ذرات درشت تر به عنوان عامل تمرکز تنش عمل کرده و باعث شکسته شدن آسان تر کامپوزیت می شوند. روند افزایش استحکام ضربه با اندازه ذرات چوب ریزتر توسط سایر



شکل ۲- تغییرات استحکام ضربه نمونه ها با اندازه ذره چوب.

ASTM D 648 در شرایط بار ۷/۸ kPa انجام شد. MFI نمونه های تهیه شده بر اساس استاندارد ASTM D 1238 و در شرایط آزمون مشابه شرایط پلی پروپیلن (۲/۱۶ kg و $T=230^{\circ}\text{C}$) اندازه گیری شد.

برای تهیه ریزنگارهای میکروسکوپ الکترونی، نمونه های پودری چوب روی چسب نگه دارنده نمونه قرار داده شد و نمونه های کامپوزیتی در نیتروژن مایع شکسته شده و روی سطح شکست آنها آزمایش میکروسکوپی انجام شد.

رفتار رئولوژیکی آمیزه ها در حالت دینامیک به وسیله رئومتر بررسی شد. اندازه گیری در حالت دو صفحه موازی با قطر ۲۵ mm و شکاف بین دو صفحه برابر ۲ mm در دمای 190°C انجام شد. مقدار کرنش در ۱ درصد ثابت نگه داشته شد و بسامد در محدوده ۰/۱ تا ۲۰۰ rad/s تغییر یافت.

نتایج و بحث

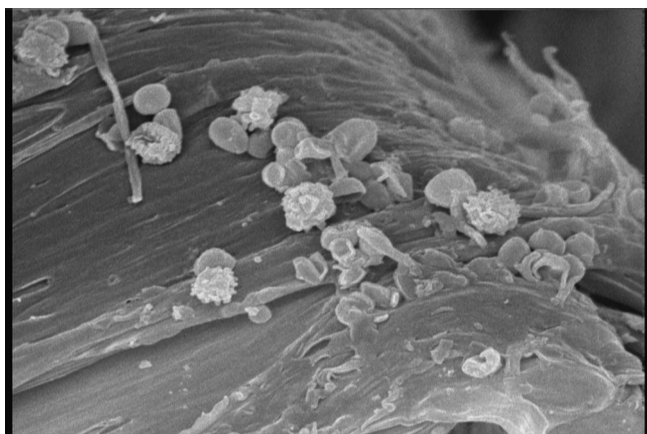
خواص کششی

یکی از دلایل اصلی افزودن چوب به پلاستیک ها تقویت و افزایش مدول کششی آنهاست. با در نظر گرفتن مدول زیاد چوب، مدول کامپوزیت به مقدار قابل توجهی افزایش می یابد. اندازه و مقدار ذرات چوب و سازگار کننده از عوامل مؤثر بر مقدار این تقویت کنندگی هستند. جدول ۲ مقدار مدول کششی، استحکام کششی و درصد ازدیاد طول تا پارگی نمونه ها را نشان می دهد. همان طور که از جدول مشخص است، با ریزتر شدن ذره، مدول کششی کاهش می یابد. به بیان دیگر، هر قدر ذرات چوب درشت تر باشند، به طوری که بتوان برای آنها نسبت منظر تعریف کرد، قدرت تقویت کنندگی آنها بیشتر می شود. به نظر می رسد که برای تقویت کنندگی بیشتر باید از چوب با اندازه ذرات درشت تر استفاده کرد.

با ریزتر شدن ذرات مقدار استحکام کششی افزایش می یابد. این امر

جدول ۲- خواص کششی و مدول خمشی نمونه ها.

نمونه	مدول کششی (MPa)	استحکام کششی (MPa)	ازدیاد طول تا پارگی (%)
PP	۹۷۰	۲۵	۳۰۰
WPC100	۱۳۱۸	۲۹/۸۴	۵
WPC 250	۱۳۴۸	۲۶/۱۷	۶
WPC 400	۱۴۳۸	۲۴/۳۵	۶



شکل ۴- ریزنگار SEM یک کلوخه از ذرات چوب در بستر پلی پروپیلن.

نمی تواند جزئیات دقیقی را از رفتار جریان مذاب ارائه دهد. چرا که اولاً این شاخص فقط به شکل یک نقطه است که از اندازه گیری در سرعت های برشی کم به دست آمده و ثانیاً رفتار ویسکوالاستیک در آن منظور نشده است. از این رو، رفتار رئولوژیکی بررسی شده که در بخش بعدی بحث می شود.

دمای واپیچش گرمایی

دمای واپیچش گرمایی نمونه ها تغییرات معنی داری را با تغییر اندازه ذرات نشان نداده و برای همه نمونه ها در حدود $95 \pm 3^\circ C$ است. البته افزایش ۱۰ درجه ای این دما نسبت به پلی پروپیلن خالص قابل توجه بوده و باعث پایداری ابعادی بهتر این کامپوزیت در دماهای بیشتر نسبت به پلی پروپیلن می شود.

بررسی رفتار رئولوژی

شکل ۵ اثر اندازه ذرات چوب را بر گرانیوی مختلط کامپوزیت چوب - پلاستیک در مقدار ثابت چوب و سازگار کننده نشان می دهد. در سامانه های پلیمری پر شده بررسی اثر اندازه ذرات معمولاً کاری دشوار است، زیرا پرکننده های استفاده شده به طور عمومی دارای توزیعی از اندازه ذرات هستند.

در مقایسه با پلی پروپیلن خالص گرانیوی کامپوزیت های پر شده با پودر چوب در مقادیر بیشتری قرار دارد. این امر در کامپوزیت های پودری کاملاً طبیعی است. ذرات سخت پرکننده ضمن افزایش مدول کامپوزیت مقاومت آن را در مقابل تغییر شکل افزایش داده و منجر به افزایش در گرانیوی می شوند.

با افزایش اندازه ذرات چوب از ۱۰۰ به $400 \mu m$ گرانیوی کم می شود.

پژوهشگران نیز گزارش شده است [۲۱].

در نگاهی کلی کم بودن استحکام ضربه کامپوزیت های چوب - پلاستیک نقص به شمار می آید و برای رفع آن استفاده از اصلاح کننده های ضربه مانند EVA و EPDM یا اسفنجی کردن ماتریس گزارش شده است [۱۷].

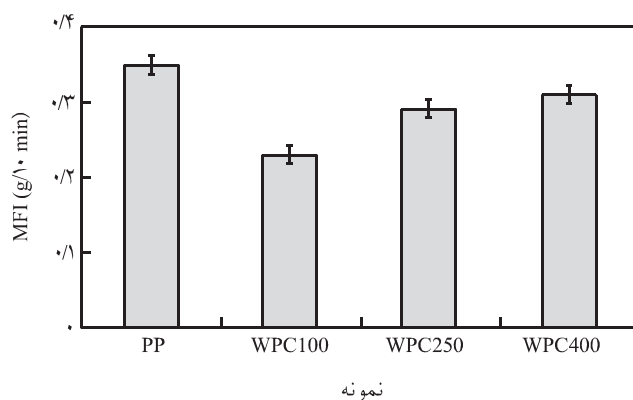
شاخص مذاب

شکل ۳ تغییرات مقادیر شاخص جریان مذاب را در برابر اندازه ذرات چوب نشان می دهد. همان طور که مشخص است، با ریزتر شدن اندازه ذرات شاخص جریان مذاب کاهش می یابد. به طور کلی، با افزودن چوب به پلی پروپیلن مقدار شاخص جریان مذاب کاهش می یابد. این امر بدین دلیل است که چوب یا هر پرکننده معدنی یا آلی دیگر باعث افزایش گرانیوی آمیزه می شود.

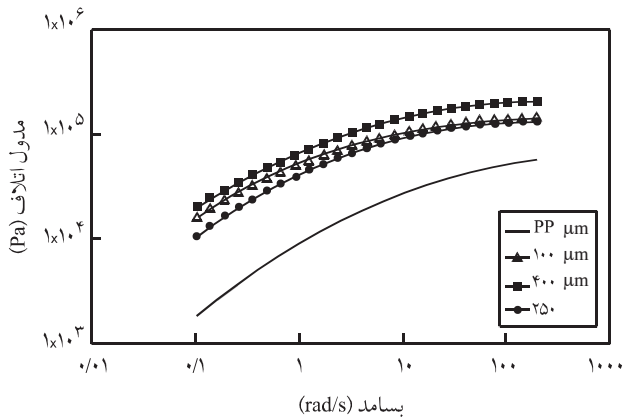
افزایش گرانیوی مذاب (کاهش شاخص جریان مذاب) پلی پروپیلن با پرکننده های مختلف معدنی و چوب توسط پژوهشگران زیادی گزارش شده است و بسیاری از این افراد درصد پیش بینی و مدل کردن این افزایش گرانیوی نیز برآمده اند. تغییرات گرانیوی و به همراه آن تغییرات شاخص جریان مذاب پلیمرهای پر شده نیز تابعی از اندازه ذرات و شکل هندسی ذرات پرکننده است [۲۲-۲۴].

از دلایل کاهش شاخص مذاب با ریزتر شدن اندازه ذرات، می توان احتمال کلوخه ای شدن بیشتر این ذرات را در اندازه های ریزتر عنوان کرد. شکل ۴ ریزنگار میکروسکوپ الکترونی از این کلوخه ای شدن را در اندازه ذره $100 \mu m$ نشان می دهد.

البته باید توجه داشت که شاخص جریان مذاب خاصیتی از پلیمر است که بیشتر کاربرد صنعتی دارد و یک صنعتگر (با توجه به راحتی اندازه گیری این شاخص) می تواند دیدگاه کلی را از خواص جریان آن ماده داشته باشد. اما، ذکر این نکته ضروری است که مقدار این شاخص



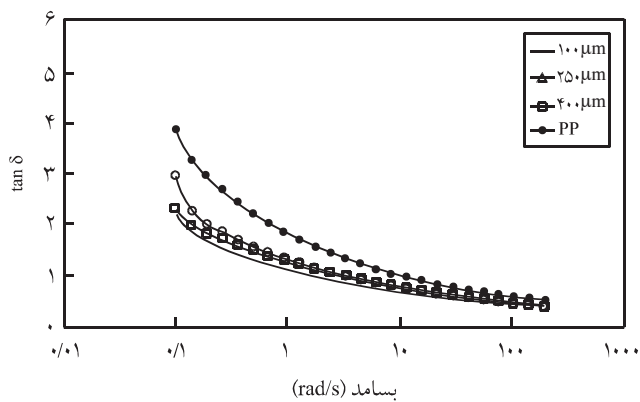
شکل ۳- تغییرات شاخص جریان مذاب نمونه ها در مقابل اندازه ذره چوب.



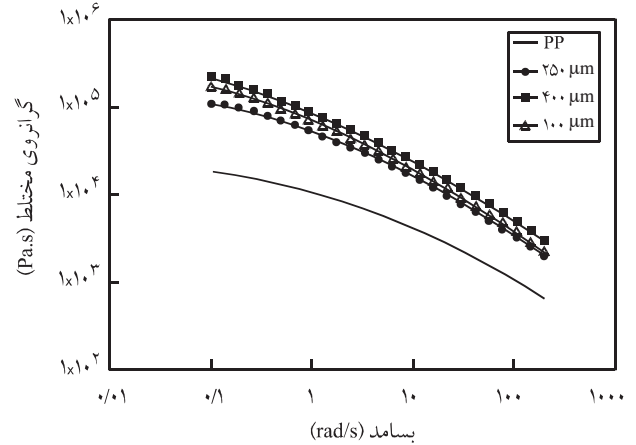
شکل ۷- تغییرات مدول اتلاف با اندازه ذرات چوب.

مطالعه شده در مقایسه با پلی پروپیلن خالص بیشتر است. اما، سرعت تغییرات مدول ذخیره بیشتر از مدول اتلاف است. این امر بدان معنی است که در اثر افزایش اندازه ذرات مقدار برگشت کشسان کمتر می شود، در اندازه ذرات درشت تر به دلیل نامنظم شدن شکل چوب ناپیوستگی بیشتری را در ماتریس می توان مشاهده کرد. این ناپیوستگی باعث کاهش برگشت مقدار انرژی کشسان می شود و کاهش مدول ذخیره را در پی دارد.

تغییرات $\tan \delta$ با اندازه ذرات چوب در شکل ۸ نشان داده شده است. به طور کلی تغییرات $\tan \delta$ با اندازه ذرات چوب بسیار قابل ملاحظه نیست و مقدار $\tan \delta$ به ویژه در بسامدهای زیاد تقریباً ثابت است. با افزودن پودر چوب به پلی پروپیلن $\tan \delta$ کاهش می یابد و با توجه به این که $\tan \delta$ به طور معکوس با مقدار کشسانی ارتباط دارد، کاهش این عامل نشان دهنده افزایش کشسانی در کامپوزیت های پلی پروپیلن - چوب است.



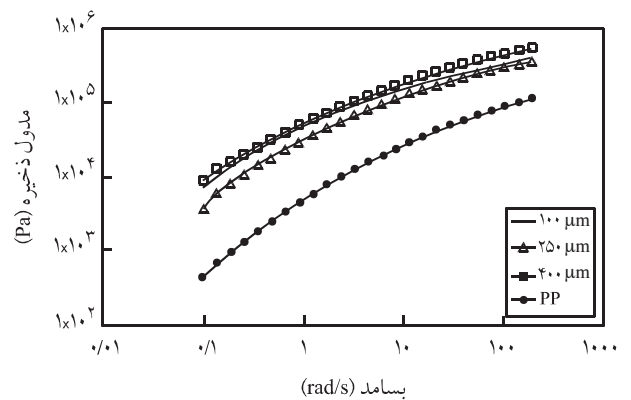
شکل ۸- تغییرات $\tan \delta$ با اندازه ذرات چوب.



شکل ۵- اثر اندازه ذرات پودر چوب بر گرانروی مختلط کامپوزیت چوب - پلاستیک.

این امر با توجه به افزایش شاخص جریان مذاب با افزایش اندازه ذرات چوب قابل قبول است. به نظر می رسد در اندازه ذرات بسیار کوچک چوب به دلیل ریزبودن بسیار زیاد پرکننده، عکس العمل و ممانعت بیشتری در برابر جریان ایجاد می شود. این امر می تواند به دلیل وجود تجمع ها و کلوخه ای شدن ذرات چوب باشد. با افزایش اندازه ذرات چوب تا $400 \mu m$ و تجسم شکل آن به صورت لیف کوتاه، این الیاف بسیار راحت تر در مسیر جریان آرایش می یابند که منجر به کاهش گرانروی می شود.

شکل های ۶ و ۷ تغییرات مدول ذخیره و مدول اتلاف را با اندازه ذرات چوب نشان می دهند. تغییر این پارامترها با اندازه ذرات چوب روندی مشابه با تغییرات گرانروی را نشان می دهد. در حقیقت با افزایش اندازه ذرات چوب از 100 به $400 \mu m$ مدول ذخیره و مدول اتلاف روند کاهشی نشان می دهند. با این وجود، مدول ذخیره و مدول اتلاف نمونه های دارای پودر چوب در همه درصدهای



شکل ۶- تغییرات مدول ذخیره با اندازه ذرات چوب.

نتیجه گیری

استحکام کششی کاهش می یابد، اما ازدیاد طول تا پارگی تغییرات قابل ملاحظه ای را نشان نمی دهد.

- شاخص جریان مذاب با کاهش اندازه ذرات کاهش می یابد که آزمون های رئولوژیکی این مطلب را تأیید کرده است، بدین ترتیب که گرانیوی مختلط با کاهش اندازه ذرات افزایش یافته است.

- مدول ذخیره و مدول اتلاف کامپوزیت با افزایش اندازه ذرات کاهش یافته و $\tan \delta$ تغییرات زیادی نشان نمی دهد.

- استحکام ضربه نمونه ها با کاهش اندازه ذرات افزایش می یابد.

در این پژوهش، مشخص شد که اندازه ذرات چوب (یا به طور کلی مشخصات چوب) عاملی مؤثر بر خواص فیزیکی - مکانیکی کامپوزیت چوب - پلی پروپیلن است. هر چند باید به این نکته توجه داشت که اثر این عامل در فرمول بندی به اندازه درصد چوب و عامل سازگار کننده مؤثر نیست. اثر اندازه ذره چوب را می توان به موارد زیر خلاصه کرد:

- با افزایش اندازه ذرات چوب مدول کششی نمونه ها افزایش و

مراجع

- Pritchard G., Two Technologies Merge: Wood-Plastic Composites, *Reinforced Plastic*, **48**, 26-29, 2004.
- Smith M.P. and Wolcott M.P., Opportunities for Wood/Natural Fiber Plastic Composites in Residential and Industrial Application, *Forest Product J.*, **56**, 4-11, 2006.
- Rowell R.M., Young R.A. and Rowell J.K., *Paper and Composites from Agro-based Resources*, CRC, New York, Chapt. 8, 1997.
- Fernand M.B., Costa H.S. and Carvalho D.L., Polypropylene-wood Fiber Composites: Effect of Treatment and Mixing Conditions on Mechanical Properties, *J. Appl. Polym. Sci.*, **65**, 1227-1235, 1997.
- Wang Y., Chan H.C., Lai S.M. and Shen H.F., Twin Screw Compounding of PE-HD Wood Flour Composites, *Int. Polym. Proc.*, **16**, 100-107, 2001.
- Julson J.L., Subbarao G., Stokke D.D. and Gieselman H.H., Mechanical Properties of Biorenewable Fiber-Plastic Composites, *J. Appl. Polym. Sci.*, **93**, 2483-2493, 2004.
- Keener T.J., Stuart R.K. and Brown T.K., Maleated Coupling Agent for Natural Fiber Composites, *Composites: Part A*, **35**, 357-362, 2004.
- Urrega J.M., Matias M.C., Delaorden M.U., Munguia M.A.L. and Sanches C.C., Effects of Coupling Agents on the Oxidation and Darkening of Cellulosic Materials Used as Reinforcements for Thermoplastic Matrices in Composites, *Polym. Eng. Sci.*, **40**, 407-417, 2000.
- Karmaker A.C. and Youngquist J.A., Injection Molding of Polypropylene Reinforced with Short Jute Fibers, *J. Appl. Polym. Sci.*, **62**, 1147-1151, 1996.
- Oksman K., Lindberg H. and Holmgren A.N., The Nature and Location of SEBS-MA Compatibilizer in Polyethylene-Wood Flour Composites, *J. Appl. Polym. Sci.*, **69**, 201-209, 1998.
- Bledzki A.K., Sperber V.E. and Faruk O., Natural and Wood Fiber Reinforcement in Polymers, *Rapra Rev.*, **13**, Report 152, 2002.
- Karimi A., Nazari S., Ghasemi I., Tajvidi M and Ebrahimi G., Effect of Delignification of Wood Fiber on The Mechanical Properties of Wood Fiber-Polypropylene Composites, *J. Appl. Polym. Sci.*, **102**, 4759-4763, 2006.
- Mirbageri J., Tajvidi M., Hermanson J.C. and Ghasemi I., Tensile Properties of Wood Flour/Kenaf Fiber Polypropylene Hybrid Composites, *J. Appl. Polym. Sci.*, **105**, 3054-3059, 2007.
- Mirbageri J., Tajvidi M., Hermanson J.C. and Ghasemi I., Prediction of Elastic Modulus of Wood Flour/Kenaf Fiber Polypropylene Hybrid Composites, *Iran. Polym. J.*, **16**, 271-278, 2007.
- Azizi H. and Ghasemi I., Investigation on The Dynamic Melt Rheological Properties of Polypropylene/Wood Flour Composites, *Polym. Compos.*, In Press, 2008.
- Fu S.Y., Xu G. and Maia Y.W., On The Elastic Modulus of Hybrid Particle/Short-Fiber/Polymer Composites, *Composites, Part B: Engineering*, **33**, 291-299, 2002.
- Biagiotti J., Fiori S., Torre L., Lopez-Manchado M.A., and Kenny J.M., Mechanical Properties of Polypropylene Matrix Composites Reinforced with Natural Fibers: A Statistical Approach, *Polym. Compos.*, **25**, 26-36, 2004.
- Rowell R.M., Sanadi A.R., Caulfield D.F. and Jacobson R.E., *Lignocellulosic-Plastics Composites*, Leao A.L., Carvalho F.X.

- and Frollini E. (Eds.), Unesp, Brazil, 23-51, 1997.
19. Stark N.M. and Rowlands R.E., Effect of Wood Fiber Characteristics on Mechanical Properties of Wood/Polypropylene Composites, *Wood Fiber Sci.*, **35**, 167-174, 2003.
20. Zaini M.J., Foad M.Y.A., Ismail Z., Mansor M.S. and Mostafah J., The Effect of Filler Content and Size on the Mechanical Properties of Polypropylene/Oil Palm Wood Flour Composites, *Polym. Int.*, **40**, 51-55, 1996.
21. Joseph K., Kuriakos B., Premalatha C.K. and Thomas S., Effect of Fiber Pretreatment Condition on the Interfacial Strength and Mechanical Properties of Wood Fiber/PP Composites, *Plast. Rubber Compos. Proc. Appl.*, **21**, 237-245, 1994.
22. Li T.Q. and Wolcott M.P., Rheology of Wood Plastic Melt: Part I, Capillary Rheometry of HDPE Filled with Maple, *Polym. Eng. Sci.*, **47**, 549-559, 2005.
23. Maiti S.N., Subbarao R. and Ibrahim N., Effect of Fiber on the Rheological Properties of iPP/Wood Fiber Composites, *J. Appl. Polym. Sci.*, **91**, 644-650, 2005.
24. Kuruvilla J., Kuriakose B., Premalatha C.K. and Thomas S., Melt Rheological Behaviour of Short Sisal Fiber Reinforced Polyethylene Composites, *Plast. Rubber Compos. Proc. Appl.*, **21**, 237-245, 1994.