فصلنامه علمی – پژوهشی تحقیقات علوم چوب و کاغذ ایران
جلد ۳۲، شماره ۳، صفحه ۳۴۴-۳۳۴ (۱۳۹۶)
شناسه دیجیتال (DOI): 10.22092/IJWPR.2017.22966.1261

بررسی استفاده از نانو لوله‌های کربنی چند جداره (MWCNTs) و ذرات میکرو کریستالین سلولز در تولید نانو چندسازه چوب- پلاستیک

امیر نوربخش

- دانشیار، بخش تحقیقات علوم چوب و فراورده‌های آن، مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران
پست الکترونیک: nourbakhsh_amir@yahoo.com

تاریخ دریافت: اسفند ۱۳۹۵ تاریخ پذیرش: مرداد ۱۳۹۶

چکیده

در این بررسی استفاده از نانو لوله‌های کربنی چند جداره و ذرات میکروکریستالین سلولز در ساخت نانو چندسازه چوب پلاستیک مورد توجه قرار گرفته است. اثرات اندازه ذرات میکروکریستالین سلولز و نانو لوله کربنی چند جداره (MWCNTs) بر خواص مکانیکی و ریخت‌شناسی نانو چندسازه چوب پلاستیک مطالعه شده است. در این بررسی استفاده از ذرات میکروکریستالین سلولز به همراه آرد چوب در دو سطح طول ۲۰ و ۵۰ میکرون و درصد نانو لوله‌های کربنی چند جداره در سطح صفر، ۱/۵ و ۲/۵ درصد چندسازه چوب پلاستیک مورد توجه قرار گرفت. نتایج نشان داده است که خواص مکانیکی در چندسازه که با طول ۵۰ میکرون ذرات میکروکریستالین سلولز به همراه نانو لوله کربنی در سطح ۱/۵ درصد نسبت به سایر تیمارها برتر بوده است. همچنین نتایج آزمایش‌ها نشان داد که استفاده از ذرات میکروکریستالین سلولز باعث بهبود خواص حرارتی در جریان مخلوط‌سازی در مرحله درون سطحی شده و سبب اتصال بهتر بین الیاف و ماتریس گردیده است. خواص مکانیکی نانو چندسازه با استفاده از عکس‌برداری SEM و TEM مورد بررسی گرفته است.

واژه‌های کلیدی: چندسازه، میکرو کریستالین سلولز، نانو لوله‌های کربنی، جفت‌کننده مالییکی، خواص مکانیکی.

مقدمه

امروزه چندسازه‌های چوب پلاستیک به‌عنوان مواد مهندسی در صنایع مختلفی ازجمله خودروسازی، هوافضا، ساختمان‌سازی و ... کاربرد وسیعی پیدا کرده است. اعتقاد بر این است که این مواد دارای دوام بالا بدون استفاده از مواد شیمیایی و غیرسمی هستند. در سال‌های اخیر کاربرد این چندسازه‌ها به‌سرعت در اروپا، آمریکای شمالی و آسیا توسعه پیدا کرده است (Yang *et al.*, 2007). ترکیبات اولیه چندسازه‌های چوب پلاستیک شامل رزین‌های گرمانرم، معمولاً ۴۰ تا ۷۰٪ الیاف چوب (در روش اکستروژن) می‌باشد. افزودن مواد چوبی مزایای بسیار زیادی ازجمله زیست‌سازگاری و بهبود خواص مکانیکی به محصول نهایی می‌دهد.

در سال‌های اخیر توسعه و استفاده از مواد چوبی که دارای ویژگی‌های مناسب‌تری هستند گسترش یافته است. در تحقیقاتی که در کشورهای مختلف انجام شده است، استفاده از عناصر مختلف چوبی در ابعاد کمتر همانند سلولز و میکروسلولز و نانو مورد توجه زیادی قرار گرفته است. البته دستیابی به علم و فناوری نانوچندسازه‌ها امکان طراحی و بهینه‌سازی را در ابعاد مولکولی فراهم می‌کند. نانوچندسازه‌ها به موادی متشکل از بیش از دو جزء گفته می‌شود که یکی از اجزای آن در ابعاد نانومتر باشد و در جزء دیگر پراکنده شده باشد. البته یک

Archive of SID
www.SID.ir

چندسازه باید دارای خواص بهتری از هر دو جزء تشکیل‌دهنده آن (حداقل در یکی از خواص) باشد.

موادی مانند میکروکریستالین سلولز به همراه جفت‌کننده‌ها خواص مکانیکی بسیار مناسبی را بین ماتریس پلیمر غیر قطبی و مواد سلولزی قطبی به وجود می‌آورند (Nourbakhsh *et al.*, 2010; Li *at al.*, 2003). همچنین در نانو چندسازه‌های پلیمری که از پلیمرهای گرمانرم استفاده می‌کنند، اختلاط این گروه از پلیمرها به دلیل ماهیت غیرقطبی‌شان با نانو منجر به تولید یک محصول نانو چندسازه‌ای خواهد شد.

Sheng (۲۰۰۳) در بررسی که بر روی کاربردهای نانو-کامپوزیت و الیاف چوب پلاستیک در روش قالب‌گیری تزریقی میکروسلولی انجام داده است، کامپوزیت الیاف سلولزی تقویت‌شده و پلی‌آمید نوع ۶ را مورد آزمون قرار داده است. نمونه‌های به‌دست‌آمده با استفاده از میکروسکوپ الکترونی (SEM) مورد آزمون قرار گرفته است. آزمون‌های کششی و ضربه مورد توجه قرار گرفته است. نتایج بررسی فوق نشان داده است که شرایط تولید و حضور فیلرهای در سطح نانو دارای ارتباط بسیار قوی بوده و در نهایت به افزایش ویژگی‌های مکانیکی انجامیده است.

استفاده از نانولوله‌های کربنی در دهه گذشته به‌صورت آزمایشگاهی به‌عنوان تقویت‌کننده در ماتریس چندسازه مورد مطالعه قرار گرفته است (Popov, 2004; Ashori & Nourbakhsh, 2011). ازآنجایی‌که خواص منحصربه‌فرد این ماده مثل دانسیته کم، هدایت حرارتی و الکتریکی بالا، آن را برای استفاده گسترده به‌عنوان تقویت‌کننده در چندسازه‌های پلیمری، سرامیکی و سیمانی مورد توجه قرار داده است (Eitan & Jiang, 2003).

همچنین داشتن مدول‌الاستیک بسیار بالا که بیشتر از یک تراپاسکال می‌باشد، مقاومت بیش از ۱۰ تا ۱۰۰ برابر قوی‌تر از فولاد در یک نسبت وزنی می‌تواند در تقویت پلیمر مورد توجه قرار گیرد. این مواد به دو شکل نانولوله تک جداره و چند جداره طبقه‌بندی می‌شوند. نوع چند جداره دارای قطر ۱ تا ۱۰۰ نانومتر و طول نیم تا ۵۰ میکرومتر می‌باشد (Popov, 2004).

بررسی خواص مکانیکی و حرارتی و همچنین ریخت‌شناسی نانو چندسازه چوب پلاستیک در سطوح مختلف مورد تحقیق قرار گرفت. نتایج نشان داد که افزایش مدول کششی در تیمارهایی که از نانو رس و میکروکریستالین سلولز ساخته شده‌اند منجر به اتصال بین سطحی کامل‌تر بین الیاف و ماتریس شده است. خواص خمشی نیز به‌طور واضح با تغییرات جفت‌کننده مالییکی (MAPP)، میکروکریستالین سلولز (MCC) و نانو رس در ارتباط بوده است. ترکیبات ساخته شده با میکروکریستالین سلولز نشان داده که دارای بالاترین استحکام و مدول خمشی بوده است. نمونه‌هایی که با مقدار ۸٪ میکروکریستالین سلولز ساخته‌شده‌اند، به‌طور مشخص دارای استحکام به ضربه بیشتری نسبت به تیمار بدون میکروکریستالین سلولز بوده است. افزودن انیدریدمالییک پلی‌پروپیلنی اتصال بین سطحی میان الیاف و ماتریس را برقرار می‌کند؛ بنابراین ترک به‌سختی در مرحله داخلی چندسازه به وجود آمده یا توسعه پیدا می‌کند (Nourbakhsh *et al.*, 2013).

همچنین در نانو چندسازه‌های پلیمری که از پلیمرهای گرمانرم استفاده می‌کنند، اختلاط این گروه از پلیمرها به دلیل ماهیت غیرقطبی‌شان با نانو رس منجر به تولید یک محصول نانو چندسازه‌ای خواهد شد (Matuana, 2003).

هدف از این تحقیق، تعیین خواص مکانیکی و چندسازه ساخته‌شده از نانو لوله‌های کربنی چند جداره به همراه دو سطح متفاوت میکروکریستالین سلولز می‌باشد. بر این اساس تیمارهای مختلفی شامل درصدهای مختلفی از نانولوله‌های کربنی، ذرات میکروکریستالین سلولز به همراه آرد چوب و پلی‌پروپیلن مورد استفاده قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

مواد: آرد چوب مورد استفاده از صنوبر *Populus deltoieds* تهیه گردید که پس از درجه‌بندی در ابعاد ۶۰/۴۰ الک شد. سپس در دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت تا رطوبت ۳٪ خشک شد.

میکروکریستالین سلولز (MCC) از شرکت آلدریچ

Archive of SID

www.SID.ir

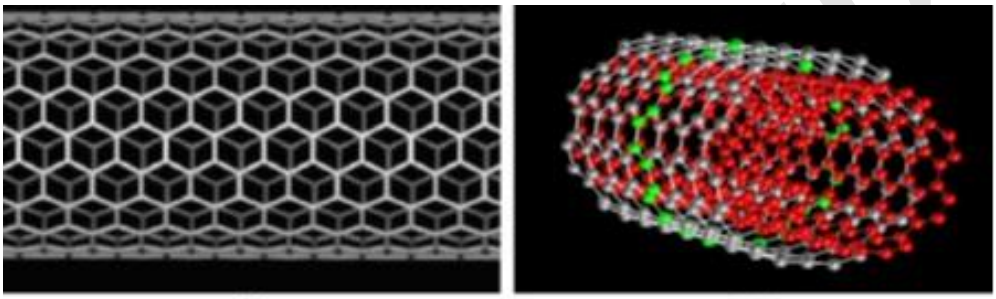
(Alderich) و از نـــوع Pulver-20 و در ابعـــاد ۲۰ و ۵۰ میکرون تهیه گردید. میکروکریستالین سلولز به میزان ۸ درصد به‌عنوان تقویت‌کننده سلولزی در این بررسی استفاده شد.

پلی‌پروپیلن مورد بررسی با نام تجاری Moplen V30S از پتروشیمی اراک با شاخص جریان مـذاب ۸ گـرم بـر ۱۰ دقیقه در دمای ۲۳۰ درجه سانتی‌گراد و دانسـیته ۹۲/. گـرم بر سانتیمتر مکعب تهیه گردید.

انیدرید مالییک پلی‌پروپیلنی پیوند خـورده (MAPP) از شرکت آلدریچ (Alderich) با دانسیته ۹۱/. گرم بر سانتیمتر مکعـب و بـا وزن مولکـولی ۹۱۰۰ و گرانـروی بروکفیلـد ۴۰۰۰۰ سانتی پواز در دمـای ۱۹۰ درجـه سـانتی‌گـراد بـه میزان ۲ درصد تهیه و استفاده شد.

نانو لوله کربنی چند جداره (MWCNTs)

نانو لوله‌های کربنی چند جداره در این تحقیق از مؤسسه پتروشیمی ایران تهیه گردید. قطر داخلی و خارجی جداره‌ها به‌ترتیب ۱۰ و ۳/۵ نانومتر و درجه خلـوص آن ۹۰ درصـد بوده است (شکل ۱).



شکل ۱- شماتیک نانو لوله تک جداره و چند جداره

آماده‌سازی و ساخت چندسازه

نسبت وزنی ترکیب مواد مختلف و تیمارهای سـاخت در جدول شماره ۲ ارائه شده است. مواد مورد اسـتفاده توسـط دستگاه اکسترودر (کـولین) از نـوع دو مارپیچـه همسـوگرد مخلوط شدند. مناطق حرارتـی اکسـترودر بـه‌ترتیـب ۱۶۵، ۱۷۰، ۱۷۵، ۱۸۰ و ۱۸۵ درجه سانتی‌گراد برای نواحی ۱ تا ۵ اختصاص یافت. سرعت دورانی مارپیچه در حـد ۶۰ دور در دقیقه تنظیم گردید. مواد مخلوط شده مذاب از حمام آب سرد عبور داده شده و به‌صورت پلـت (Pellets) تهیـه شـد. ذرات پلت تهیه شده توسط دستگاه گرانول‌سـاز بـه گرانـول تبدیل شدند. به‌منظور جلوگیری از هرگونه اثر منفی رطوبت، ذرات گرانول توسط دستگاه خشک‌کن در دمـای ۹۰ درجـه سانتی‌گراد تا ۳٪ خشک گردیدند. ذرات گرانول به‌دست‌آمده توسط دستگاه قالـب‌گیـری تزریقـی در دمـای ۱۸۵ درجـه سانتی‌گراد و با فشـار ۳ مگاپاسـکال مطـابق بـا اسـتاندارد ASTM D 618 برای تهیه نمونه‌های آزمونی ضربه، خمـش و کشش تهیه شد.

اندازه‌گیری خواص مکانیکی

تمـام نمونـه‌هـای آزمـونی مطـابق بـا آیـین‌نامـه‌هـای استاندارد ASTM-D 638 برای خواص کششی، ASTM-D 790 برای خواص خمشی و ASTM-D 256 برای مقاومـت به ضربه فاقدار آیزود آزمـایش شـدند (Annual book of ASTM standards, 1999). نمونه‌های کششی و خمشی بـا اسـتفاده از دسـتگاه Instron (1186) در سـرعت ۱/۵ و ۲ میلی‌متر بر دقیقه به‌ترتیـب آزمـایش شـدند. بـرای آزمـون استحکام کششی نمونـه‌هـای دمبلـی شـکل از نـوع III بـا ضـخامت ۱۲ میلـی‌متـر تهیـه گردیـد. دسـتگاه آزمایشـگر مقاومت به ضربه از نوع Zwick 1446 انتخـاب شـد. نتـایج ارائه شده، میانگین حداقل ۶ نمونه برای هر تیمار می‌باشد.

Archive of SID
www.SID.ir

جدول ۱– درصد ترکیب مواد و تیمارها

کد	طول ذرات میکرون	MAPP (٪.wt)	PP (٪.wt)	ترکیب مواد (٪wt)
۱	۲۰	۲	۵۸	۴۰ آرد چوب (شاهد ۱)
۲	۵۰	۲	۵۸	۴۰ آرد چوب (شاهد ۲)
۳	۵۰	۲	۵۸	۴۰ (۰ نانو/ ۸ میکرون/ ۳۲ آرد چوب)
۴	۵۰	۲	۵۶/۵	۴۱/۵ (۱/۵ نانو/ ۸ میکرون/ ۳۲ آرد چوب)
۵	۵۰	۲	۵۵/۵	۴۲/۵ (۲/۵ نانو/ ۸ میکرون/ ۳۲ آرد چوب)
۶	۲۰	۲	۵۸	۴۰ (۰ نانو/ ۸ میکرون/ ۳۲ آرد چوب)
۷	۲۰	۲	۵۶/۵	۴۱/۵ (۱/۵ نانو/۸ میکرون/ ۳۲ آرد چوب)
۸	۲۰	۲	۵۵/۵	۴۲/۵ (۲/۵ نانو/ ۸ میکرون/ ۳۲ آرد چوب)

مطالعه ریخت‌شناسی میکروسکوپی

خواص مورفولوژیکی چندسازه‌های ساخته شده با استفاده از میکروسکوپ الکترونی (SEM) از نوع Philips XL 30 مورد بررسی قرار گرفت. سطوح شکست نمونه‌های آزمونی بعد از اندازه‌گیری مقاومت به ضربه توسط لایه طلا پوشش داده شد. تمام تصاویر با ولتاژ تسریع شده ۲۵ کیلووات بررسی شدند. همچنین برای بررسی تشکیل اتصالات نانو کامپوزیت و مطالعات ریخت‌شناسی به‌وسیله عکس‌برداری میکروسکوپ الکترونی روبشی از دستگاه TEM مدل Zeiss EM900 با جریان ولتاژ KV۸۰ شرکت کفا استفاده شد.

تجزیه‌وتحلیل آماری

برای تجزیه‌وتحلیل آماری از آزمون فاکتوریل دو عامله و در قالب طرح کاملاً تصادفی استفاده شد. تجزیه‌وتحلیل با استفاده از نرم‌افزار MSTAT-C انجام شد و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن (DMRT) مورد بررسی قرار گرفت.

نتایج

جدول ۲ خلاصه تجزیه واریانس مقاومت‌های مکانیکی و اثرات مستقل و متقابل نوع جفت‌کننده و درصد جفت‌کننده را در سطح ۱ و ۵ درصد نشان می‌دهد. همچنین مقایسه میانگین‌ها به روش دانکن نیز مورد بررسی قرار گرفته است.

جدول ۲– خلاصه تجزیه واریانس مقاومت‌های مکانیکی و فیزیکی

منبع	مقاومت کششی	مدول کششی	مقاومت خمشی	مدول خمشی	مقاومت به ضربه
میکرو کریستالین سلولز	۰/۰۱۸۶*	۰/۰۲۳۸*	ns۰/۱۲۱	ns۰/۲۲۸	۰/۰۳۲*
درصد نانو لوله کربنی	۰/۰۴۱*	۰/۰۰۳**	۰/۰۰۳**	۰/۰۲۶*	۰/۰۱۹*
اثر متقابل (میکروکریستالین سلولز و درصد نانو لوله کربنی)	۰/۰۰۱**	۰/۰۲۳*	۰/۰۶۱*	ns۰/۱۳۰	۰/۰۱۸۲*

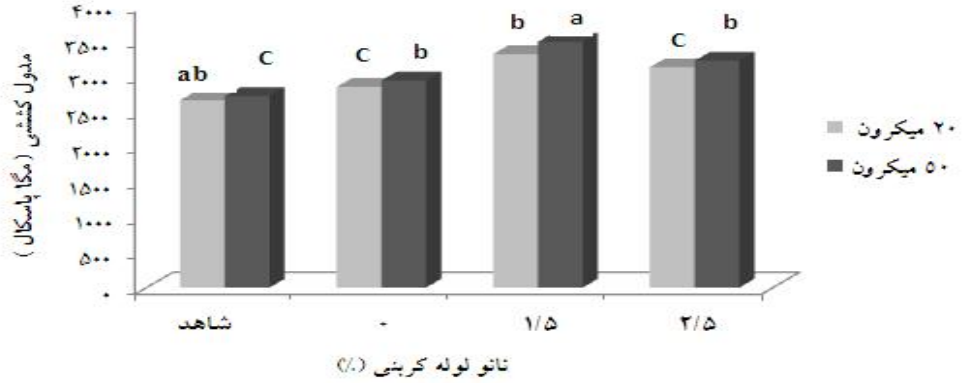
**: معنی‌دار در سطح ۱ درصد *: معنی‌دار در سطح ۵ درصد n.s.: معنی‌دار نمی‌باشد

Archive of SID

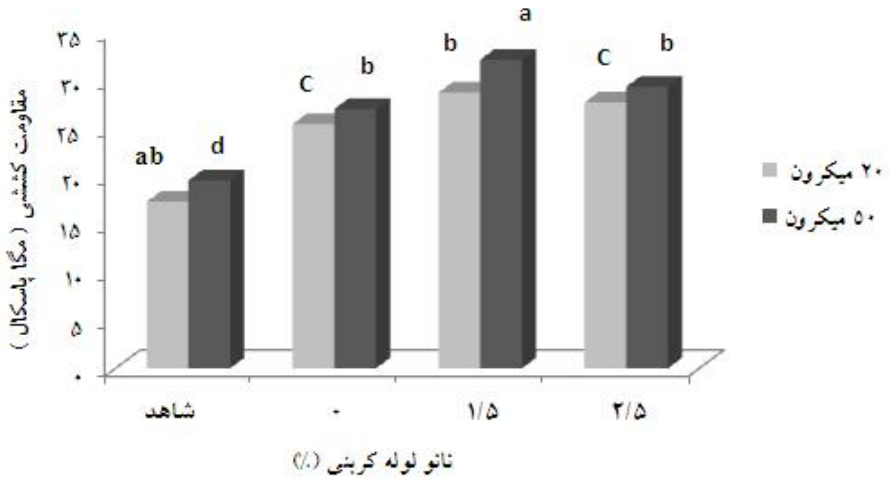
www.SID.ir

خواص کششی

شکل ۲ (الف و ب) مقاومت و مدول کششی ترکیبات مختلف چندسازه را نشان می‌دهد. همان‌گونه که مشخص است افزایش مقاومت کششی در حالت استفاده از ماتریس پلیمر به همراه ۲۰ و ۵۰ میکرون کریستالین سلولز ایجاد شده است. استفاده از ۵۰ میکرون کریستالین سلولز به همراه ۱/۵ درصد نانو لوله کربنی حداکثر مقاومت و مدول کششی را به وجود آورده که در گروه‌بندی میانگین‌ها به روش دانکن در تیمارهای برتر a و b قرار می‌گیرند. تیمارهایی که از ۵۰ میکرون کریستالین سلولز به همراه ۱/۵ و ۲/۵ درصد نانو لوله کربنی استفاده شده است، در گروه‌های بعدی قرار می‌گیرند. همچنین نتایج نشان داد که در تیمار شاهد ۱ که با استفاده از ذرات میکروکریستالین سلولز بدون نانو لوله کربنی ساخته‌شده‌است خواص کششی دارای حداقل می‌باشد. نتایج مقاومت کششی چندسازه نشان می‌دهد که تیمار برتر با استفاده از ۱/۵ درصد نانو لوله کربنی و ۵۰ میکرون ذرات میکرو کریستالین سلولز ۸۵/۲۲ درصد نسبت به شاهد ۲ افزایش داشته است. همچنین نتایج مدول کششی چندسازه نشان می‌دهد که تیمار برتر با استفاده از ۱/۵ درصد نانو لوله کربنی و ۵۰ میکرون ذرات میکرو کریستالین سلولز ۲۸/۴۰ درصد نسبت به شاهد ۲ افزایش داشته است. اثر ابعاد ذرات میکرو کریستالین سلولز نیز به‌صورت مشهود نشان داده است که با افزایش ابعاد ذرات در تمامی تیمارها مقاومت و مدول کششی افزایش یافته است.



شکل ۲- الف- اثر متقابل طول ذرات میکرو کریستالین سلولز و درصد نانو کلی بر مقاومت کششی چندسازه



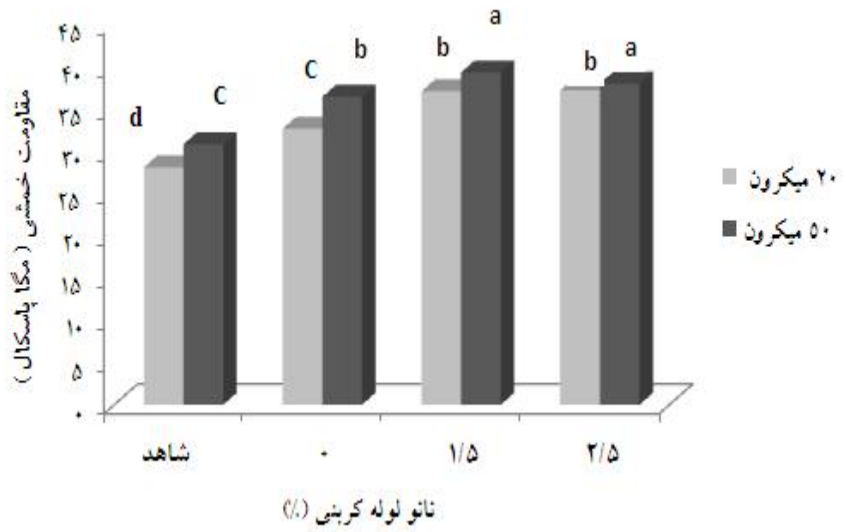
شکل ۲- ب- اثر متقابل طول ذرات میکرو کریستالین سلولز و درصد نانو کلی بر مدول کششی چندسازه

www.SID.ir

موادی مانند ذرات میکروکریستالین سلولز به همراه جفت‌کننده‌ها خواص مکانیکی بسیار مناسبی را بین ماتریس پلیمر غیر قطبی و مواد سلولزی قطبی به وجود می‌آورند (Nourbakhsh *et al.*, 2010; Li *at al.*, 2003). همچنین در نانو چندسازه‌های پلیمری که از پلیمرهای گرمانرم استفاده می‌کنند نتایج نشان داد که افزایش مدول و مقاومت کششی در تیمارهایی که از نانو لوله کربنی چند جداره و ذرات میکروکریستالین سلولز ساخته شده‌اند منجر به اتصال بین سطحی کامل‌تر بین الیاف و ماتریس شده است. ضریب کشیدگی بالا و اثر تقویت‌کنندگی همچنین داشتن مدول الاستیک بسیار زیاد در ذرات نانو لوله‌های کربنی و همچنین اثر استفاده از ذرات میکرو کریستالین سلولز می‌تواند از دلایل افزایش خواص کششی باشد.

خواص خمشی

شکل ۳ مقاومت خمشی ترکیبات مختلف چندسازه را نشان می‌دهد. همان‌گونه که مشخص است افزایش مقاومت خمشی در حالت استفاده از ماتریس پلیمر به همراه ۲۰ و ۵۰ میکرون ذرات کریستالین سلولز ایجاد شده است. استفاده از ۵۰ میکرون کریستالین سلولز به همراه ۱/۵ درصد نانو لوله کربنی حداکثر مقاومت خمشی را به وجود آورده و گروه‌بندی میانگین‌ها به روش دانکن در تیمارهای برتر a و b قرار می‌گیرند. تیمارهایی که از ۵۰ میکرون کریستالین سلولز به همراه ۱/۵ و ۲/۵ درصد نانو لوله کربنی استفاده شده است، در گروه‌های بعدی قرار می‌گیرند. همچنین نتایج نشان داد که در تیمار شاهد ۱ که با استفاده از ذرات میکروکریستالین سلولز بدون نانو لوله کربنی ساخته‌شده‌اند خواص خمشی در حداقل می‌باشد. نتایج مقاومت خمشی چندسازه نشان می‌دهد که تیمار برتر با استفاده از ۱/۵ درصد نانو لوله کربنی و ۵۰ میکرون ذرات میکرو کریستالین سلولز ۳۹/۹۳ درصد نسبت به شاهد ۲ افزایش داشته است.



شکل ۳- اثر متقابل طول ذرات میکرو کریستالین سلولز و درصد نانو کلی بر مقاومت خمشی چندسازه

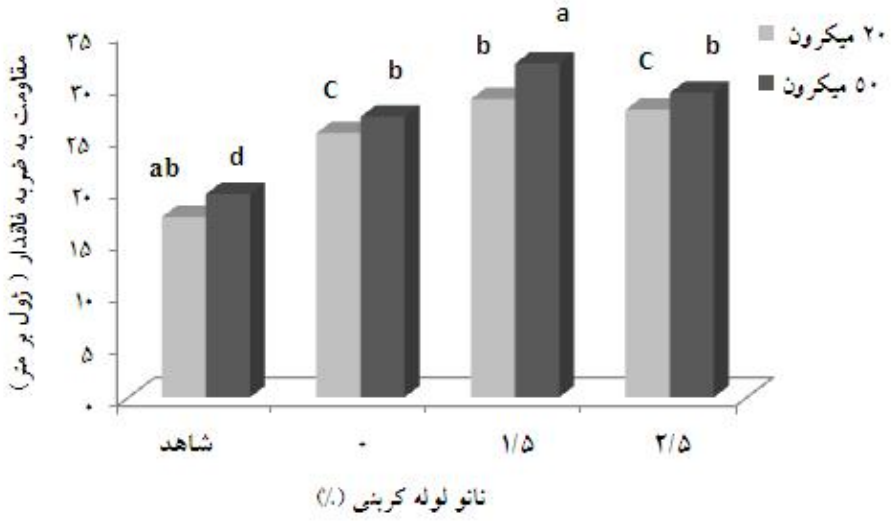
افزایش خواص خمشی در نتیجه بهبودی الحاق بین ترکیبات مواد در چندسازه به‌دست‌آمده است که با سختی بیشتر ذرات نانو لوله کربنی و ضریب کشیدگی بالاتر آن مرتبط بوده است. همچنین مشاهده شده است که افزایش

www.SID.ir

مقاومت خمشی با ابعاد بیشتر میکروکریستالین سلولز مرتبط بوده است. اثر ابعاد ذرات میکرو کریستالین سلولز نشان داده است که با افزایش ابعاد ذرات در تمامی تیمارها مقاومت خمشی افزایش یافته است.

مقاومت به ضربه

شکل ۴ مقاومت به ضربه ترکیبات مختلف چندسازه را نشان می‌دهد. همان‌گونه که مشخص است افزایش مقاومت به ضربه در حالت استفاده از ماتریس پلیمر به همراه ۲۰ و ۵۰ میکرون ذرات کریستالین سلولز ایجاد شده است. استفاده از ۵۰ میکرون کریستالین سلولز به همراه ۱/۵ درصد نانو لوله کربنی حداکثر مقاومت به ضربه را به وجود آورده و گروه‌بندی میانگین‌ها به روش دانکن در تیمارهای برتر a و b قرار می‌گیرند. تیمارهایی که از ۵۰ میکرون کریستالین سلولز به همراه ۱/۵ و ۲/۵ درصد نانو لوله کربنی استفاده شده است، در گروه‌های بعدی قرار می‌گیرند. همچنین نتایج نشان داد که در تیمار شاهد ۱ که با استفاده از ذرات میکروکریستالین سلولز بدون نانو لوله کربنی ساخته‌شده‌اند خواص ضربه در حداقل می‌باشد و در گروه ab قرار می‌گیرد. نتایج مقاومت به ضربه چندسازه نشان داد که تیمار برتر با استفاده از ۱/۵ درصد نانو لوله کربنی و ۵۰ میکرون ذرات میکرو کریستالین سلولز ۸۳/۲۸ درصد نسبت به شاهد ۲ افزایش داشته است. تیمارهایی که با مقدار ۸٪ میکروکریستالین سلولز ساخته‌شده‌اند، به‌طور مشخص دارای استحکام به ضربه بیشتری نسبت به تیمار بدون میکروکریستالین سلولز بوده است. افزودن انیدرید مالییک پلی‌پروپیلنی اتصال بین سطحی میان الیاف و ماتریس را در حضور جفت‌کننده برقرار می‌کند؛ بنابراین ترک به‌سختی در مرحله داخلی چندسازه به وجود آمده یا توسعه پیدا می‌کند. افزایش ابعاد طولی ذرات نانو لوله‌های کربنی سبب افزایش سطح ویژه در ماتریس پلیمر شده، در نهایت مواد سلولزی و جفت‌کننده می‌توانند در سطح بیشتری در شبکه چندسازه اتصال برقرار کرده و بنابر خواص ذاتی مواد سلولزی که با جفت‌کننده ترکیب شده‌اند سبب چنگ زدن بیشتر به زنجیرهای پلیمری می‌شوند. از طرفی اثر متقابل ضعیف بین الیاف و پلیمر سبب کاهش سطح مشترک آنها می‌گردد که این مسئله موجب اتصالات و چسبندگی ضعیف بین الیاف و پلیمر می‌شود، چون با افزایش سطح مؤثر الیاف (اندازه کوچک‌تر ذرات میکرو کریستال سلولز) مواد سازگار کننده کفایت نکرده و افت مقاومت به وجود می‌آید.

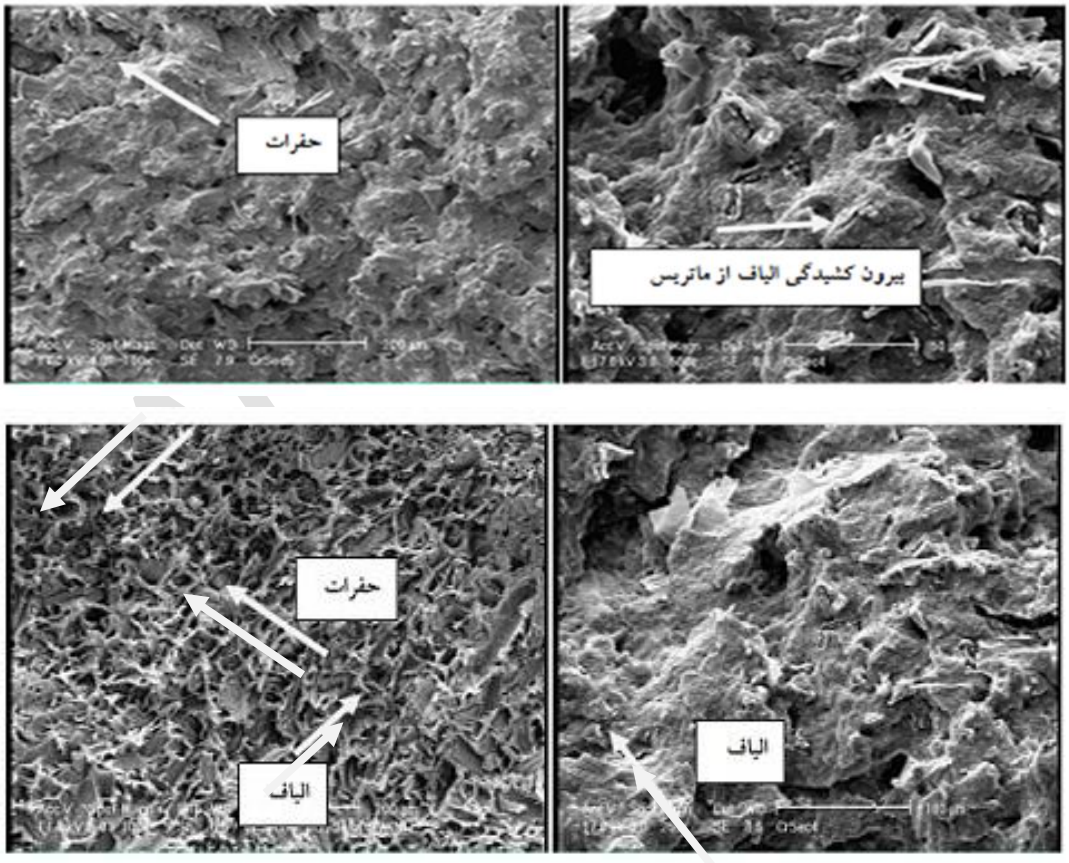


شکل ۴- اثر متقابل طول ذرات میکرو کریستالین سلولز و درصد نانو کلی بر مقاومت به ضربه فاقدار چندسازه

www.SID.ir

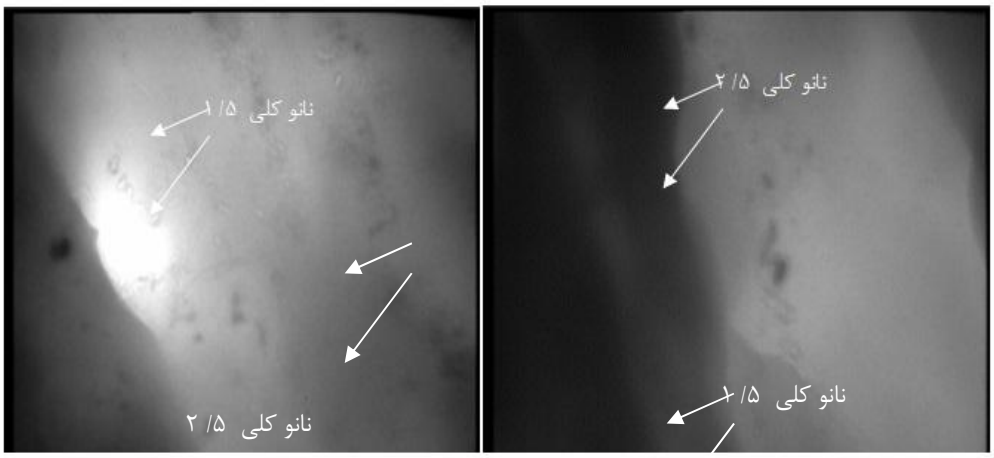
ویژگی‌های سطوح شکست

تصاویر میکروسکوپ الکترونی (SEM) برای بررسی سطوح شکست در نمونه‌های کششی چندسازه در شکل ۵ مشاهده می‌شود (در تصاویر توزیع و سازگاری بین پرکننده-ها و ماتریس مشاهده می‌گردد). وجود حفره‌ها در چندسازه‌های ساخته شده در تیمارهای با درصد کمتر نانو لوله کربنی و ذرات ۲۰ میکرون کریستالین سلولز دیده می‌شود. تصاویر نشان می‌دهد که سطوح اتصال بین الیاف و ماتریس ضعیف بوده و هنگامی که تنش اعمال می‌گردد سبب خارج شدن آسان الیاف از ماتریس گردیده و در نهایت منجر به ایجاد حفره و فاصله در چندسازه می‌گردد. همان‌گونه که در شکل مشاهده می‌گردد عدم کشیدگی و خارج شدن الیاف و همچنین اتصال مناسب‌تر بین پرکننده‌ها و ماتریس دیده می‌شود. همچنین طبق نتایج SEM، با مشاهده سطح شکست نمونه حاوی ذرات چوب، حفره‌های سیاه رنگی (فضاهای خالی) در سطح مشترک مواد سلولزی و چوبی و پلیمر مشاهده می‌شود که نشان‌دهنده اتصال ضعیف بین ذرات چوب و پلیمر است و بیان‌کننده این است که درصد بالایی از ذرات چوبی و سلولزی از سطح پلیمر جدا شده و از آن بیرون کشیده شده‌اند که این امر سبب شکننده شدن و ویژگی‌های مکانیکی ضعیف این نمونه‌ها شده است. این موضوع ممکن است به این علت باشد که ذرات ریز تمایل به انباشتگی و کلوخه‌ای شدن دارند. انباشتگی مواد چوبی و سلولزی، سبب ایجاد مناطق غنی از آنها می‌شود که مستعد ترک‌های ریزی هستند و در این صورت بین ذرات حفره‌هایی ایجاد می‌شود، در نتیجه هیچ باری از شبکه به ذرات منتقل نمی‌شود که منجر به ویژگی‌های مکانیکی ضعیف چندسازه‌ها می‌گردد(Zhang *et al.*, 2016).



شکل ۵- تصاویر میکروسکوپ الکترونی نمونه‌های آزمونی کشش با بزرگنمایی ۲۰۰

www.SID.ir



شکل ۶ – تصویر میکروسکوپ الکترونی انتقالی نمونه‌های چندسازه چوب پلاستیک با بزرگنمایی ۱۵۰ نانومتر (نمونه حاوی ۱/۵ و ۲/۵ درصد نانو لوله کربنی و ذرات ۵۰ میکرون کریستالین سلولز)

تصاویر ۶ پراکنش ذرات نانو در ماتریس چندسازه بهبودی را در ترکیباتی که از ذرات میکرو کریستالین سلولز استفاده شده تأیید می‌کند. به‌منظور مشاهده دقیق‌تر ساختار چندسازه چوب پلاستیک نانو لوله کربنی از تصاویر میکروسکوپ انتقالی TEM استفاده گردید. شکل شماره ۶ تصویر چندسازه پلی‌پروپیلن الیاف چوب حاوی نانو لوله کربنی و ذرات میکرو کریستالین سلولز را نشان می‌دهد. همان‌گونه که در تصویر مشخص است، خطوط تاریک رشته‌ای مربوط به نانو لوله کربنی و مناطق روشن‌تر مربوط به ماتریس پلیمر است.

بحث

در این بررسی استفاده از نانو لوله‌های کربنی چند جداره به همراه دو سطح متفاوت میکروکریستالین سلولز مورد تحقیق قرار گرفت. بر این اساس تیمارهای مختلفی شامل درصدهای مختلفی از نانولوله‌های کربنی، ذرات میکروکریستالین سلولز به همراه آرد چوب و پلی‌پروپیلن مورد استفاده قرار گرفت. نتایج مقاومت‌های مکانیکی نشان داده است که استفاده از ماتریس پلیمر به همراه ۲۰ و ۵۰ میکرون کریستالین سلولز سبب برتری خواص مکانیکی شده است. همچنین استفاده از ۵۰ میکرون کریستالین سلولز به همراه ۱/۵ درصد نانو لوله کربنی حداکثر مقاومت‌های مکانیکی را به وجود آورده که در گروه‌بندی میانگین‌ها به روش دانکن در تیمارهای برتر a و b قرار می‌گیرند. تیمارهایی که در ابعاد ۵۰ میکرون کریستالین سلولز به همراه ۱/۵ و ۲/۵ درصد نانو لوله کربنی استفاده شده است، در گروه‌های بعدی قرارگرفته‌اند. اثر ابعاد ذرات میکرو کریستالین سلولز نیز به‌صورت مشهود نشان داده است که با افزایش ابعاد ذرات میکرو کریستالین سلولز از ۲۰ به ۵۰ میکرون در تمامی تیمارها مقاومت‌های مکانیکی افزایش یافته است. همچنین نتایج نشان داده است که اثر ذرات میکرو کریستالین سلولز به نسبت اثر قوی‌تری در افزایش خواص کششی نسبت به مواد نانو لوله کربنی داشته است.

نتایج نشان داد که افزایش خواص مکانیکی در تیمارهایی که از نانو لوله کربنی چند جداره و ذرات میکروکریستالین سلولز ساخته شده‌اند منجر به اتصال بین سطحی کامل‌تر بین الیاف و ماتریس شده است. ضریب کشیدگی بالا و اثر تقویت‌کنندگی و همچنین داشتن مدول الاستیک بسیار زیاد در ذرات نانو لوله‌های کربنی و

Archive of SID
www.SID.ir

همچنین اثر استفاده از ذرات میکرو کریستالین سلولز می‌تواند از دلایل افزایش خواص مکانیکی باشد. تصاویر SEM نشان می‌دهد که در تیمارهایی که سطوح اتصال بین الیاف و ماتریس ضعیف بوده زمانی که تنش اعمال می‌گردد سبب خارج شدن آسان الیاف از ماتریس شده و در نهایت منجر به ایجاد حفره و فاصله در چندسازه می‌گردد. عدم کشیدگی و خارج شدن الیاف و همچنین اتصال مناسب‌تر بین پرکننده‌ها و ماتریس در تیمارهای برتر دیده می‌شود. بنابراین به‌منظور مشاهده دقیق‌تر ساختار چندسازه چوب پلاستیک نانو لوله کربنی از تصاویر میکروسکوپ انتقالی TEM استفاده گردید. همان‌گونه که در تصویر مشخص است، خطوط تاریک رشته‌ای مربوط به نانو لوله کربنی و مناطق روشن‌تر مربوط به ماتریس پلیمر است.

منابع مورد استفاده

-Annual book of ASTM standards, 1999. American Society for Testing and Materials, 100 Barr Harbor Dr., West Conshohocken, PA 19428, United States

-Ashori, A. and Nourbakhsh A., 2009. Characteristics of wood–fiber plastic composites made of recycled materials: Waste Manag Vol.29: 5pp.

-Han, G., Lei, Y., Wu, Q., Kojima, Y. and Suzuki, S., 2008. Bamboo-fiber filled high density polyethylene composites; effect of coupling treatment and nanoclay. J Polym Environ Vol.21: 15pp.

-Hristove, V.N., Vasileva, S.T., Krumova, M. and Michler, R., 2004. Deformation mechanisms and mechanical properties of modified polypropylene/wood fiber composites. *Journal of Polymer Composites*. 25(5). 1015-1022.

-Li Q. and Matuana LM., 2003. Surface of cellulosic materials modified with functionalized polyethylene coupling agents. J Appl Polym Sci Vol:88:9 pp.

-Meyrs E.G., Chahyadi I.S., Gonzalez C. and Coberly C.A., 1993. Wood fibres/polymer composites: fundamental concepts, processes, and material options. Forest Product Society, Madison, USA

-Morreale M., Scaffaro R., Maio A. and La Mantia F.P., 2008. Effect of adding wood flour to the physical properties of a biodegradable. Compos Part A Vol:39:14 pp

-Nourbakhsh A., Ashori A., and Jahan-Latibari A., 2010. Evaluation of the physical and mechanical properties of medium density fiberboard made from old newsprint fibers. J Reinf. Plast. Compos Vol:29:7 pp

-Nourbakhsh, A. and Ashori, A., 2008. Fundamental Studies on Wood-plastic Composites: Effects of Fiber Concentration and Mixing Temperature on the Mechanical Properties of Poplar/PP Composite, Polymer Composites, 29(5): 569_573.

-Sheng, S., 2003. Application of Nano-Composites and Woodfiber Plastics for Microcellular Injection Molding. 7th International Conferences on Woodfiber – Plastics Composites May 19-20 2003 Monona Terrace Community & Convention Center Madison, Wisconsin, USA

-Stark, N.M. and Rowlands R.E., 2003. Effects of wood fiber characteristics on mechanical properties of wood/polypropylene composites. Wood Fiber Sci Vol:35: 8pp

-Wang S-Y., Yang T-H., Lin L-T., Lin C-J. and Tsai M-J., 2007. Properties of low formaldehyde-emission particleboard made from recycled wood-waste chips sprayed with PMDI/PF resin. Build Environ Vol: 42:8 pp

-Zhang, W., Chen, J., Dadi Bekele, L., Liu, Y., Duns, J.G. and Jin, L., 2016. Physical and Mechanical Properties of Modified Wheat Straw-Filled Polyethylene Composites. BioResources, 11 (2), 4472- 4484

-Zhou,Y., Rangari, V., Mahfuz, H., Jeelani, Sh. and Mallick, P.K., 2005. Experimental study on thermal and mechanical behavior of polypropylene, talc/polypropylene and polypropylene/ clay nanocomposites. Mater Sci Eng A. Vol:402: 9 pp.

Archive of SID

www.SID.ir

Investigation on the effect of multi walled carbon nanotube and microcrystalline cellulose addition on wood plastics composites properties

A. Nourbakhsh

-Associate Prof., Wood and forest products division, Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran, Email: nourbakhsh_amir@yahoo.com

Received: March, 2017 Accepted: Aug., 2017

Abstract

In this research, the effects micro crystalline cellulose, and multi walled Carbon Nanotube addition on the mechanical properties of wood plastics composites is investigated. Multi walled Carbon Nanotube were added to the composite compound to evaluate and compare their suitability as reinforcement for thermoplastics. The effects of micro crystalline cellulose size (20 and 50 micron) and Multi and the loading of walled Carbon Nanotube content (0, 1.5 and 2.5%) on the mechanical properties were studied. The results showed that mechanical properties of the composites made with 50 microns micro crystalline cellulose and 1.5 and 2.5 % of Multi walled Carbon Nanotube were significantly superior to those of the 20 micron) and control samples. Addition of Multi walled Carbon Nanotube enhanced the mechanical properties of the blends, due to the improvement of interface bond between the filler and matrix of wood plastics composites. The significant improvements in mechanical properties of the composites made with Multi walled Carbon Nanotube and micro cellulose were further supported by SEM and TEM micrographs.

Keywords: Composite, mechanical properties, micro crystalline cellulose, multi walled carbon nanotube.

Archive of SID

www.SID.ir