فصلنامهٔ علمی – پژوهشی تحقیقات علوم چوب و کاغذ ایران
جلد ۲۷، شمارهٔ ۳، صفحهٔ ۵۳۵-۵۲۲، (۱۳۹۱)

بررسی اثر افزودن نانولوله کربن چنددیواره، بر ویژگی‌های مکانیکی، جذب آب و واکشیدگی ضخامت چندسازه ساخته شده از پلی‌پروپیلن و الیاف بازیافتی کاغذهای قهوه‌ای

علیرضا عسگری[1*]، محمد جواد سپیده دم [2] و احمد جهان لتیباری[3]

۱*- نویسنده مسئول، دانش‌آموخته مقطع کارشناسی ارشد علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشگاه آزاد اسلامی، کرج
پست الکترونیک: alireza_asgary63@yahoo.com
۲- استادیار، گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشگاه آزاد اسلامی، کرج
۳- دانشیار، گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشگاه آزاد اسلامی، کرج

تاریخ دریافت: فروردین ۱۳۹۰ تاریخ پذیرش: فروردین ۱۳۹۱

چکیده

اثر افزودن نانولوله کربن چنددیواره، بر ویژگی‌های مکانیکی، جذب آب و واکشیدگی ضخامت چندسازه چوب پلاستیک ساخته شده از پلی‌پروپیلن و الیاف بازیافتی کاغذهای قهوه‌ای مورد بررسی قرار گرفت. از ۳۰٪ الیاف بازیافتی کاغذهای قهوه‌ای، ٦٧٪ پلی‌پروپیلن و ۳٪ پلی‌پروپیلن مالئیک‌دار به‌عنوان ترکیب چندسازه استفاده شد. نانولوله کربن چنددیواره به میزان ۱، ۲ و ٤ درصد، بر مبنای وزن خشک ترکیب چندسازه استفاده گردید. برای اختلاط مواد از دستگاه مخلوط‌کن داخلی استفاده شد و ساخت نمونه‌های آزمونی، توسط یک دستگاه تزریق، انجام شد. نتایج نشان داد که با افزودن نانولوله کربن چنددیواره به ترکیب چندسازه، به میزان یک و دو درصد، به‌ترتیب مقاومت به ضربه و مقاومت‌خمشی افزایش یافت. همچنین، با افزودن نانولوله کربن چنددیواره به ترکیب مواد در سطح دو و چهار درصد، مدول‌الاستیسیته خمشی افزایش یافت و بیشترین مقدار آن در اثر افزودن نانولوله کربن در سطح چهار درصد اندازه‌گیری شد. به‌طوری که کمترین مقدار جذب آب و واکشیدگی ضخامت در اثر افزودن یک درصد نانولوله کربن چنددیواره تعیین شد.

واژه‌های کلیدی: نانولوله کربن چنددیواره، مقاومت‌خمشی، مقاومت کششی، ضربه آیزود

مقدمه

در دهه اخیر، استفاده از الیاف سلولزی، در ساخت چندسازه‌های الیاف طبیعی/پلاستیک به طور روزافزونی افزایش یافته است. پُرکننده‌های سلولزی به شکل آرد یا الیاف، در مقایسه با پرکننده‌های معدنی، به دلایلی از قبیل ارزانی، فراوانی، در دسترس بودن، وزن مخصوص پایین، بازیافت‌پذیر بودن، دوستدار محیط‌زیست بودن و زیست تخریب‌پذیر بودن جایگزین بسیار خوبی برای پُرکننده‌های معدنی نظیر شیشه، تالک، میکا و گرافیت در تولید فراورده‌های چندسازه‌ای گرمانرم شده‌اند (Rowell *et al*, 1997). در سال‌های اخیر استفاده از پُرکننده‌های لیگنوسلولزی برای تولید گروه جدیدی از مواد به نام چندسازه‌های چوب پلاستیک (گرمانرم) مورد توجه قرار گرفته‌اند و دامنه کاربرد آنها نیز رو به افزایش است

(کاظمی نجفی و همکاران، ۱۳۸٦). در این میان استفاده از الیاف بازیافتی، به علت وضع مقررات خاص، مانند حفاظت از محیط‌زیست توسط دولت‌ها مبنی بر کاهش دفن زباله، بهره‌برداری کمتر از جنگل‌ها و ترویج استفاده از الیاف بازیافتی است (میرشکرایی، ۱۳۸۲).

نوربخش و همکاران (۱۳۸٦) به بررسی تولید چندسازه چوب پلاستیک با استفاده از ضایعات کارتن (OCC) به روش ریزش کیک پرداختند. در این بررسی، مطالعه تأثیر شرایط ساخت بر ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی چندسازه‌های الیاف OCC/پلیمر در حالت ساخت ریزش کیک مورد توجه قرار گرفت. نتایج به‌دست آمده نشان داد که در حالت استفاده از ۷۰ درصد الیاف سلولزی، مقاومت و مدول‌خمشی و در حالت استفاده از ۵۵ درصد الیاف سلولزی، چسبندگی‌داخلی، مقاومت و مدول‌کششی و واکشیدگی ضخامت پس از ۲ ساعت غوطه‌وری در آب چندسازه برتر است. استفاده از عوامل جفت‌کننده در تولید این نوع چندسازه‌های لیگنوسلولزی، در مقادیر۲ و٤ درصد نسبت به چندسازه‌های ساخته شده بدون عامل جفت‌کننده قادر به ارتقاء ویژگی‌های چندسازه بوده است.

در سال‌های اخیر، همگام با توسعه و گسترش فناوری نانو و استفاده از آن در اغلب زمینه‌ها، برای ارتقاء ویژگی‌های چوب پلاستیک‌ها و استفاده از نانوذرات در ساخت نانوچندسازه‌های پلیمری با استفاده از پلیمرهای گرمانرم، مورد توجه قرار گرفته است (Gacitua *et al.*, 2005; Verhey *et al.*, 2002). ازجمله نانوذرات می‌توان به نانوکربن‌ها و نانورس‌ها اشاره کرد که به علت ابعاد ریز و ضریب ظاهری بالا در مقایسه با سایر پُرکننده‌ها، قادر به بهبودی ویژگی‌های چندسازه‌های پلیمری می‌باشند. پژوهش‌ها نشان داده‌اند که نانوذرات اثر قابل ملاحظه‌ای برروی ویژگی‌های مکانیکی و خزش پلیمرهای گرمانرم دارند (Mingyin *et al.*, 2009). نانولوله‌های کربنی، که کشف آنها در سال ۱۹۹۱ میلادی توسط Lijima, گزارش شد. از نظر مقاومتی، سفت‌تر و سخت‌تر از فولاد هستند و در برابر نیروهای فیزیکی و مکانیکی مقاوم می‌باشند. بنابراین می‌توان ویژگی‌های مقاومتی پلیمرها و سیستم‌های چندسازه‌ای را توسط افزودن نانولوله‌های تک دیواره و چنددیواره نظیر نانولوله‌های کربن ارتقاء داد (Kumar *et al.*, 2001). نانو ذرات بدون پوشش، معمولاً انرژی سطحی زیادی دارند و باید به وسیله یک پوشش سطحی یا توسط اصلاح ساختاری محافظت شوند و یا این که برای استفاده در کاربردهای گسترده‌تر در داخل یک ماده زمینه قرار گیرند(Bakunin *et al.*, 2004) .

Shi و همکاران (۲۰۰۸)، اثر افزودن نانولوله کربن به چندسازه‌های چوب پلاستیک ساخته شده از پلی‌پروپیلن و پودر کاج جنوبی را بررسی کرده‌اند. در این تحقیق از پلی‌پروپیلن مالئیک‌دار به‌عنوان جفت‌کننده استفاده شده است. نتایج نشان دادند که با افزودن نانولوله کربن به مقدار ۰/٦۱٪، مدول‌الاستیسیته نمونه‌ها ۵۰٪ بیشتر از مدول‌الاستیسیته نمونه‌های بدون نانولوله کربن و۹۰٪ بیشتر از مدول‌الاستیسیته پلی‌پروپیلن خالص بود. Weisenberger و Andrews (۲۰۰۳)، با تأکید بر پیشرفت‌ها در زمینه سفتی چندسازه‌های ساخته شده از نانولوله‌های کربن، نگاهی منتقدانه بر مقاومت‌های مکانیکی چندسازه‌های ساخته شده از نانولوله‌های کربن با زمینه پلیمری داشته‌اند.

Valentini و همکاران (۲۰۰۳)، تحقیقاتی را بر روی چندسازه‌های ساخته شده از پلی‌پروپیلن و نانولوله کربن

تک دیواره با هدف بررسی اثر افزودن نانولوله کربن تک دیواره در سطوح ۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ درصد بر ویژگی کریستالی شدن ساختار پلی‌پروپیلن و به‌ویژه بر روی درشت ساختار و سازمان یافتگی نانو لوله‌ها در داخل ماده زمینه انجام دادند. بررسی نمونه‌ها با استفاده از طیف‌سنجی رامان نشان داد که کریستالی شدن ساختار پلی‌پروپیلن بشدت تحت تأثیر فاصله بین دسته‌های نانولوله قرار دارد.

Kumar و همکاران (۲۰۰۱)، اثر افزودن نانولوله کربن بر ویژگی‌های پلی‌پروپیلن را بررسی کرده و نتایج تحقیق آنان نشان داد که با افزودن ۵٪ نانولوله کربن، مدول و مقاومت فشاری پلی‌پروپیلن به‌ترتیب به میزان ۵۰ و ۱۰۰٪ افزایش یافت. نگاره‌های تهیه شده با استفاده از میکروسکوپ الکترونی نشان داد که پراکندگی نانولوله‌های کربن در زمینه پلی‌پروپیلن به خوبی انجام شده است.

با توجه به این که اغلب تحقیقات انجام شده در مورد نانو چندسازه‌ها با افزودن پودر چوب بوده و مطالعه در زمینه افزودن الیاف سلولزی به‌عنوان تقویت‌کننده به چندسازه محدود است، بنابراین این تحقیق با هدف بررسی تأثیر افزودن نانولوله کربن چنددیواره به‌عنوان تقویت‌کننده ویژگی‌های مقاومتی چندسازه الیاف بازیافتی کاغذهای قهوه‌ای/ پلی‌پروپیلن/ نانولوله کربن انجام شده است.

مواد و روشها

مواد

از نانولوله کربن چنددیواره در سه سطح ۱، ۲ و ٤ درصد وزن ترکیب مواد استفاده شد. نانولوله‌های کربن با طول ۱۰ میکرومتر، قطر ۱۰ تا ۳۰ نانومتر و سطح ویژه $۲۷۰ m^2/gr$ از پژوهشگاه صنعت نفت ایران تهیه شدند.

– از پلی پروپیلن نوع R40، با شاخص جریان مذاب ۸ gr/۱۰min تا ۱۰، تولید مجتمع پتروشیمی اراک به مقدار ثابت ٦۷٪ در همه ترکیب‌ها و به‌عنوان ماده زمینه در ساخت چندسازه‌ها مورد استفاده قرار گرفت.

– الیاف بازیافت شده از کاغذهای قهوه‌ای (OCC) به میزان ۳۰٪ وزن چندسازه به‌عنوان تقویت‌کننده چندسازه مورد استفاده قرارگرفت. عملیات جداسازی الیاف کاغذ قهوه‌ای (کارتن کنگره‌ای کهنه) در آزمایشگاه کاغذسازی دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرج، با استفاده از دستگاه پالایشگر انجام شد و الیاف با استفاده از غربال با اندازه منفذ ۱۲ مش از سوسپانسیون الیاف جدا شدند و الیاف باقی‌مانده بر روی غربال ٦۰ مش مورد استفاده قرار گرفت.

– پلی‌پروپیلن مالئیک‌دار، با نام تجاری (ALDRICH) و کد شناسایی (427845-250G) به‌عنوان جفت‌کننده شیمیایی، برای ارتقاء پیوند بین الیاف OCC و پلی‌پروپیلن، به مقدار ثابت ۳٪ در تمامی ترکیب‌ها استفاده شد.

ساخت نمونه

اختلاط مواد نانوچندسازه، در یک دستگاه مخلوط‌کن داخلی (Haake, sys90, USA) در دمای مخلوط‌سازی ۱۸۰ درجه سلسیوس و سرعت مخلوط‌سازی ٦۰ دور در دقیقه و زمان مخلوط‌سازی ١٤ دقیقه انجام شد.

ابتدا پلی‌پروپیلن به داخل دستگاه مخلوط‌سازی ریخته شد و بعد از ذوب شدن پلی‌پروپیلن، جفت‌کننده و نانولوله‌های کربن به آن افزوده شد، بعد از مخلوط شدن این مواد به مدت ٤ دقیقه، الیاف OCC وارد دستگاه مخلوط‌کننده شدند. مواد خارج شده از دستگاه مخلوط‌کننده پس از خشک و خنک شدن در دمای محیط توسط یک دستگاه

آسیاب (WIESER,WGLS 200/200)، به گرانول تبدیل شدند. گرانول‌ها به مدت ٤ ساعت در گرمکن حرارتی (آون) در دمای ۱۰۵ درجه سلیسیوس خشک شدند و بعد در دسیکاتور تا دمای معمولی سرد شدند و برای انجام عملیات تزریق نگهداری شدند.

ساخت نمونه‌های آزمونی در کارگاه پلاستیک پژوهشگاه پلیمر و پتروشیمی ایران و با استفاده از یک دستگاه تزریق قالبی (ایمن ماشین) انجام شد. تزریق مواد به داخل قالب‌ها با سرعت بارگیری ۲۵ دور در دقیقه و دمای ۱۸۰ درجه سلیسیوس انجام گردید. البّته در هر بار تزریق یک مجموعه کامل نمونه‌های آزمون خمشی، کششی، ضربه و جذب آب و واکشیدگی ضخامتی ساخته می‌شود.

اندازه‌گیری ویژگی‌ها

برای اندازه‌گیری ویژگی‌های مقاومتی، ابتدا نمونه‌ها در شرایط استاندارد مشروط شده و بعد اندازه‌گیری ویژگی‌های مقاومتی براساس دستورالعمل‌های مربوطه در آیین‌نامه‌های ASTM انجام شد. مقاومت به کشش طبق دستورالعمل ASTM D638 و مقاومت به خمش طبق دستورالعمل ASTM D790، توسط دستگاه آزمایش مقاومت‌های مکانیکی، مدل اینسترون (Instron) با شماره ٤٤٨٦ و مقاومت به ضربه ایزود طبق دستورالعمل ASTM D250 توسط دستگاه (SANTAM, SIT-20D) در دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران انجام شد. آزمون‌های جذب آب و واکشیدگی ضخامت طولانی مدت چندسازه‌ها (پس از ۱۰ هفته غوطه‌وری) مطابق دستورالعمل ASTM–D7031 انجام گردید. آزمون مقاومت‌ها در سه تکرار انجام شد.

تجزیه و تحلیل نتایج، با استفاده از نرم‌افزار SPSS و براساس آزمون فاکتوریل در قالب طرح کامل تصادفی انجام شد و در صورت معنی‌دار شدن اختلاف این میانگین‌ها، برای گروه‌بندی میانگین‌ها از آزمون چنددامنه‌ای دانکن استفاده شد. جدول ۱ خلاصه شده است.

نتایج

نتایج اندازه‌گیری ویژگی‌های مقاومتی و فیزیکی چندسازه الیاف کاغذهای قهوه‌ای/ پلی‌پروپیلن/ نانولوله‌های کربن چنددیواره در شکل‌های ۱ تا ۸ نشان داده شده است. به‌منظور نشان دادن دامنه تغییرات مقادیر اندازه‌گیری شده، انحراف از معیار داده‌ها در بالای هر ستون نشان داده شده است. نتایج تجزیه واریانس تأثیر افزودن نانولوله کربن چنددیواره بر مقاومت‌های مکانیکی چندسازه‌های ساخته شده از پلی‌پروپیلن و الیاف کاغذهای قهوه‌ای (OCC) در

جدول ۱- سطح معنی‌داری تأثیر افزودن مقادیر مختلف نانولوله کربن بر ویژگی‌های مقاومتی چندسازه

ویژگی مورد بررسی	سطح معنی‌داری آماری
مقاومت به ضربه	**
مقاومت به خمش	**
مدول‌الاستیسیته خمشی	*
مقاومت به کشش	n.s.
مدول‌الاستیسیته کششی	n.s.
جذب آب بلند مدت	*
واکشیدگی ضخامت بلند مدت	n.s.

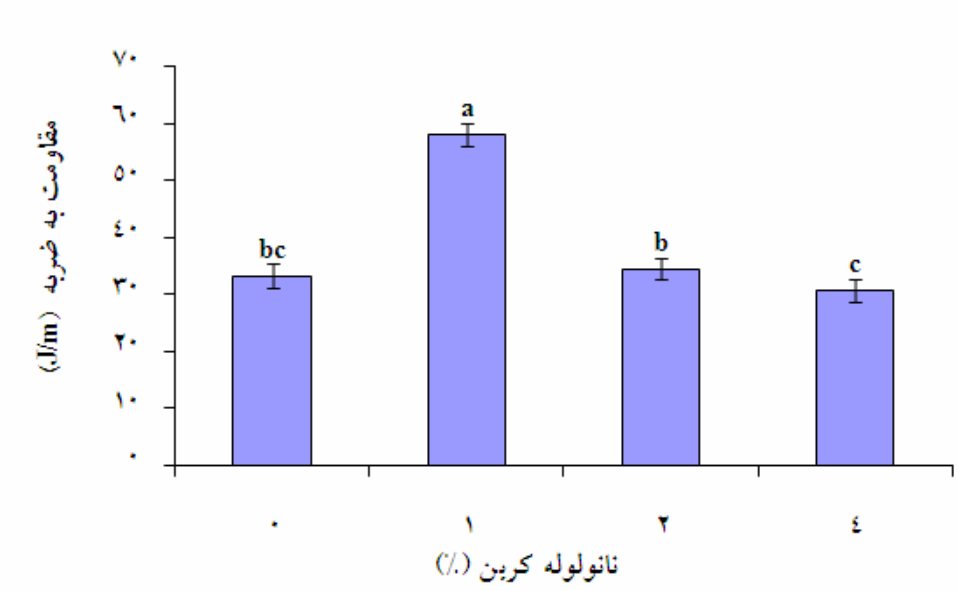
**معنی‌دار در سطح ۹۹ درصد * معنی‌دار در سطح ۹۵ درصد n.s. معنی‌دار نمی‌باشد.

مقاومت‌های مکانیکی

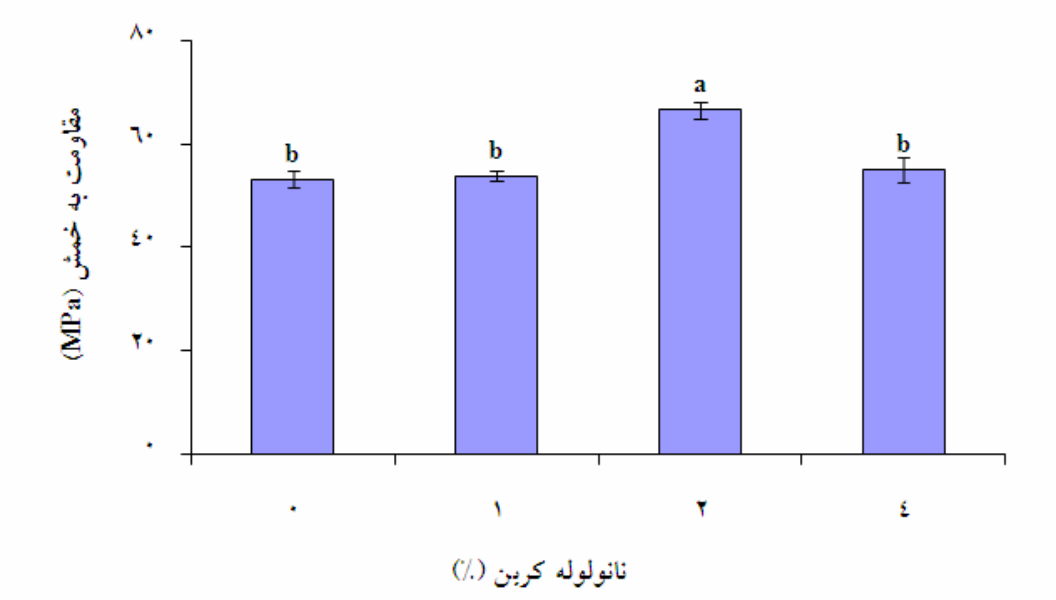
میانگین مقاومت به ضربه ایزود نمونه‌های چندسازه و گروه‌بندی دانکن میانگین‌ها در اثر افزودن نانولوله کربن چنددیواره در شکل ۱ نشان داده شده است. بیشترین مقاومت به ضربه ایزود معادل ۵۸/۰۷۵ ژول بر متر با افزودن ۱٪ نانولوله کربن چنددیواره به ترکیب چندسازه ایجاد شده است. طبق جدول تجزیه واریانس، تأثیر افزودن نانولوله کربن چنددیواره بر مقاومت به ضربه ایزود در سطح ۹۹ ٪ معنی‌دار است و مقاومت به ضربه ایزود چندسازه با یک درصد نانولوله کربن چنددیواره در گروه a قرار می‌گیرد. در اثر افزودن مقادیر زیادتر نانولوله کربن چنددیواره مقاومت به ضربه ایزود چندسازه کاهش یافته، حتی وقتی ٤٪ نانولوله کربن چنددیواره به چندسازه افزوده می‌شود، مقاومت به ضربه ایزود آن کمتر از چندسازه بدون نانولوله کربن چنددیواره است.

میانگین مقاومت‌خمشی و گروه‌بندی دانکن میانگین‌های مقاومت‌خمشی چندسازه در اثر افزودن نانولوله کربن چنددیواره در شکل ۲ نشان داده شده است.

زیادترین مقاومت‌خمشی (MOR) چندسازه به مقدار ٦٦/٥ مگاپاسکال با افزودن ۲٪ نانولوله کربن چنددیواره به ترکیب ایجاد شده است. از جدول تجزیه واریانس مشخص است که تأثیر افزودن نانولوله کربن چنددیواره بر مقاومت‌خمشی چندسازه در سطح ۹۹ ٪ معنی‌دار است و مقاومت‌خمشی نمونه حاوی ۲٪ نانولوله کربن چنددیواره در گروه a قرار گرفته است. ولی افزودن یک یا ٤٪ نانولوله کربن چنددیواره به چندسازه تغییری در مقاومت‌خمشی آن ایجاد نکرده و مقدار آن معادل مقاومت‌خمشی چندسازه بدون نانولوله کربن چنددیواره است. میانگین و گروه‌بندی دانکن میانگین‌های مدول‌الاستیسیته خمشی چندسازه اثر افزودن نانولوله کربن چنددیواره در شکل ۳ نشان داده شده است.

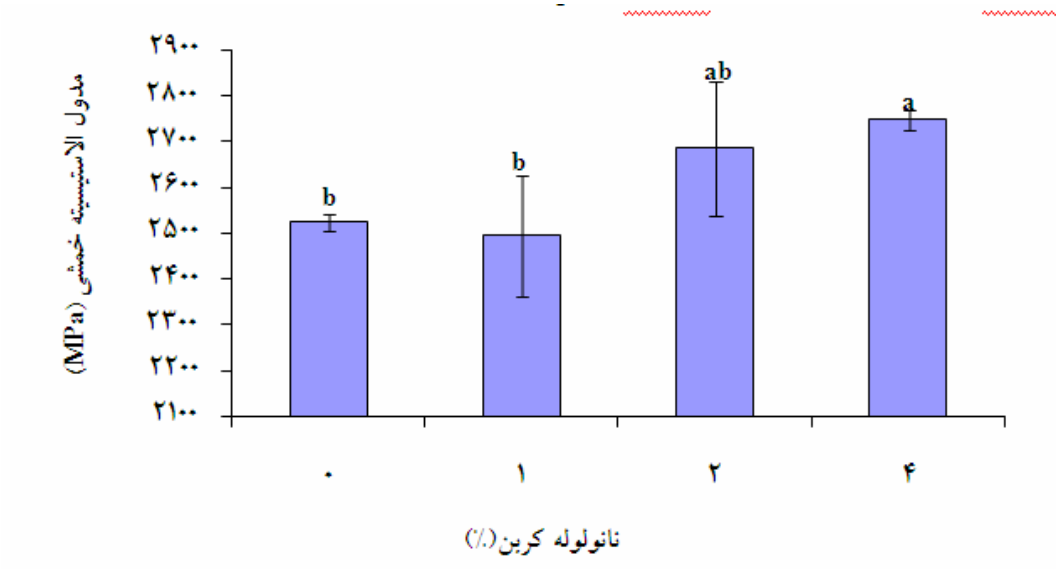


شکل ۱- تأثیر افزودن نانولوله کربن چنددیواره بر مقاومت به ضربه چندسازه



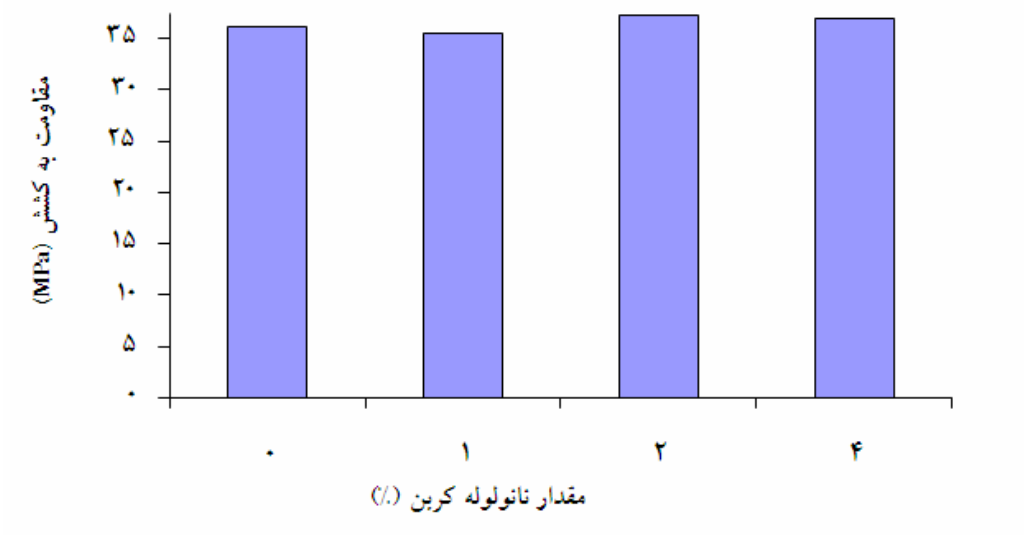
شکل ۲- تأثیر افزودن نانولوله کربن چنددیواره بر مقاومت به خمش

تغییرات در مدول‌الاستیسیته خمشی چندسازه در اثر افزودن نانولوله کربن چنددیواره با مقاومت‌خمشی، متفاوت است. البّته افزودن مقادیر زیادتر نانولوله کربن چنددیواره، به مقدارهای زیادتر مدول‌الاستیسیته خمشی انجامیده است. بیشترین مقدار مدول‌الاستیسیته (MOE)، ۲۷۴۹ مگاپاسکال با افزودن ٤٪ نانولوله کربن چنددیواره حاصل شده است. به طوری که تأثیر افزودن نانولوله کربن چنددیواره بر مدول‌الاستیسیته خمشی چندسازه‌ها در سطح ۹۵٪ معنی‌دار شده است و میانگین‌ها در چهار گروه مجزا قرار گرفته‌اند (شکل۳).

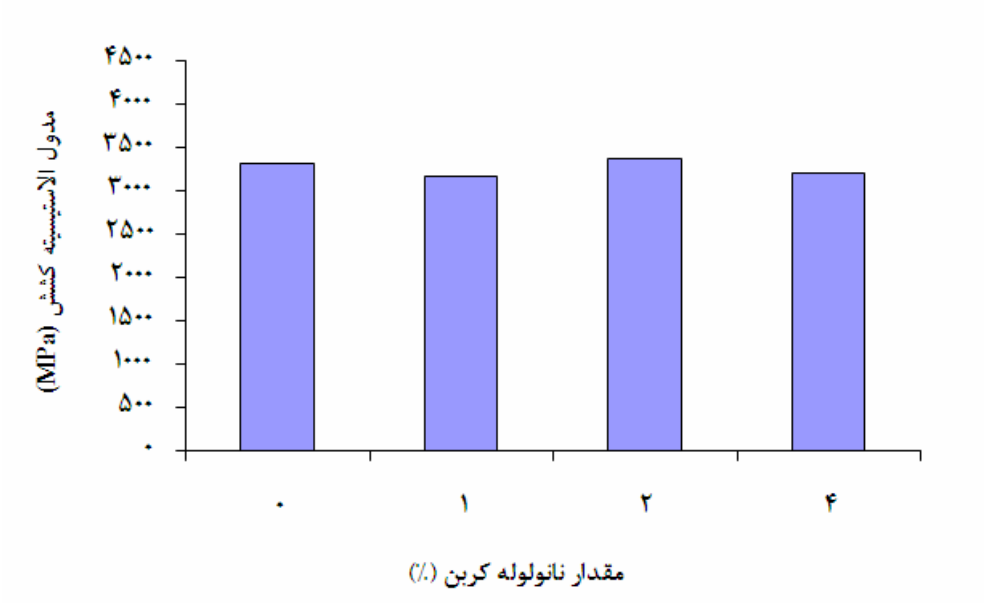


شکل ۳- تأثیر افزودن نانولوله کربن چنددیواره بر مدول‌الاستیسیته خمشی

میانگین مقاومت به کشش و مدول‌الاستیسیته کششی و اثـر افـزودن نانولولـه کـربن چنـددیواره بـر چندسـازه در شکل‌های ٤ و ٥ نشان داده شده است.



شکل ٤- تأثیر افزودن نانولوله کربن چنددیواره بر مقاومت به کشش



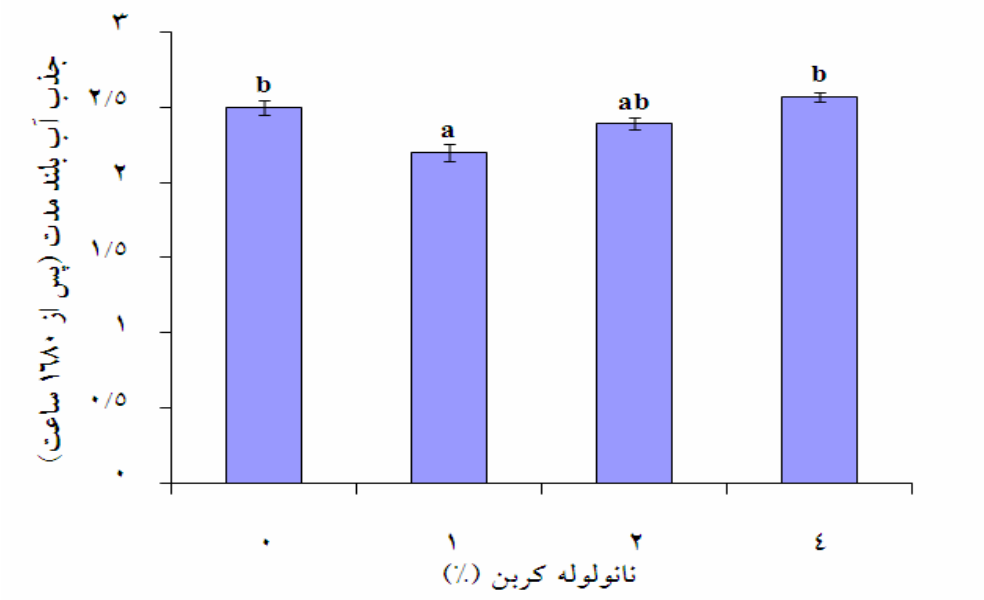
شکل ٥- تأثیر افزودن نانولوله کربن چنددیواره بر مدول‌الاستیسیته کششی

افزودن نانولوله‌های کربن در هیچ یک از سـطوح تـأثیر معنی‌داری بر مقاومت به کشش و مدول‌الاستیسـیته کششـی نمونه‌های آزمونی نداشته است. میانگین مقدار تغییـر طـول کششی چندسازه‌ها در اثـر افـزودن مقـدارهای ۰، ۱، ۲ و ٤

درصد نانولوله کربن چنددیواره به‌ترتیب معادل ۱/۷، ۱/۳، ۱/۹ و ۱/۵ درصد تعیین شده است.

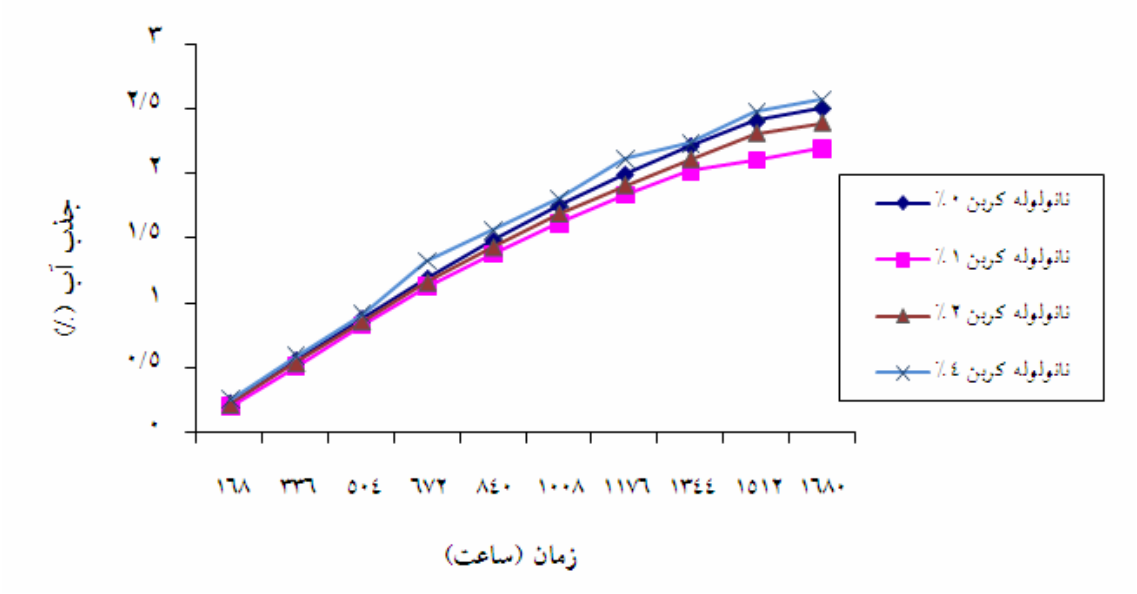
جذب آب و واکشیدگی ضخامت

میانگین و گروه‌بندی دانکن میانگین‌های مقادیر جذب آب بلند مدت چندسازه‌ها (پس از ۱۶۸۰ ساعت یا ۱۰ هفته) غوطه‌وری در آب ساخته شده با افزودن مقدارهای مختلف نانولوله کربن چنددیواره، در شکل ٦ نشان داده شده است. همان طور که مشاهده می‌شود چندسازه‌های حاوی ۱ و ۲ درصد نانولوله کربن چنددیواره در ترکیب، جذب آب کمتری نسبت به دیگر چندسازه‌ها داشته‌اند. البّته اختلاف بین میانگین‌ها در سطح اعتماد آماری ۹۵ درصد معنی‌دار است و میانگین‌ها در سه گروه مجزا قرار گرفته‌اند.



شکل ٦- تأثیر افزودن نانولوله کربن چنددیواره بر جذب آب بلند مدت

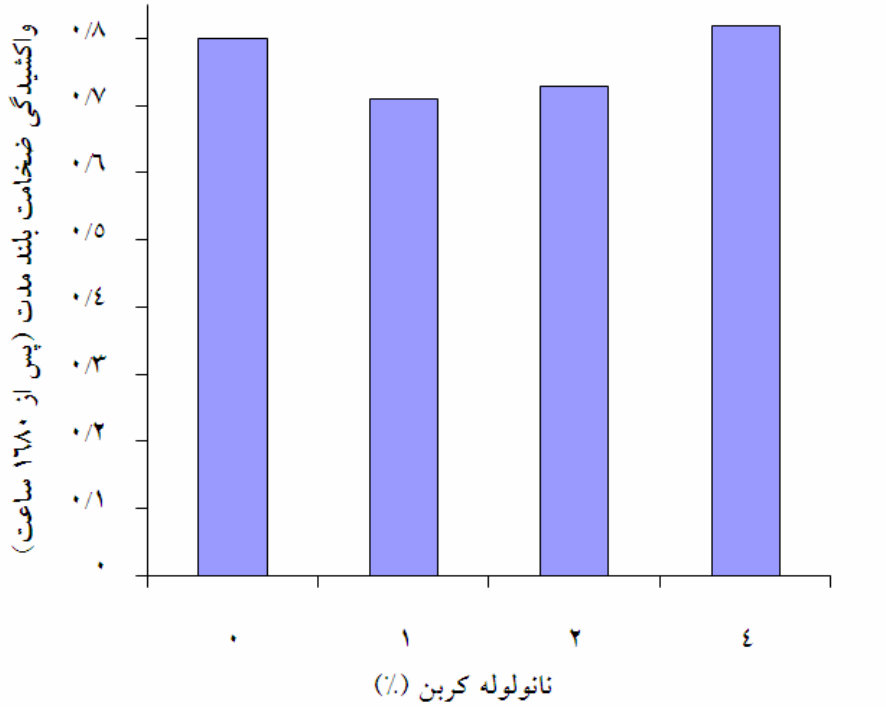
چگونگی تغییر جذب آب چندسازه‌ها، در طی مدت ده هفته (۱۶۸ تا ۱۶۸۰ ساعت)، در شکل ۷ نشان داده شده است. همان طور که مشاهده می‌شود، جذب آب نمونه‌ها در ابتدا به طور خطی افزایش یافته و پس از آن از شدت جذب آب کم می‌شود.



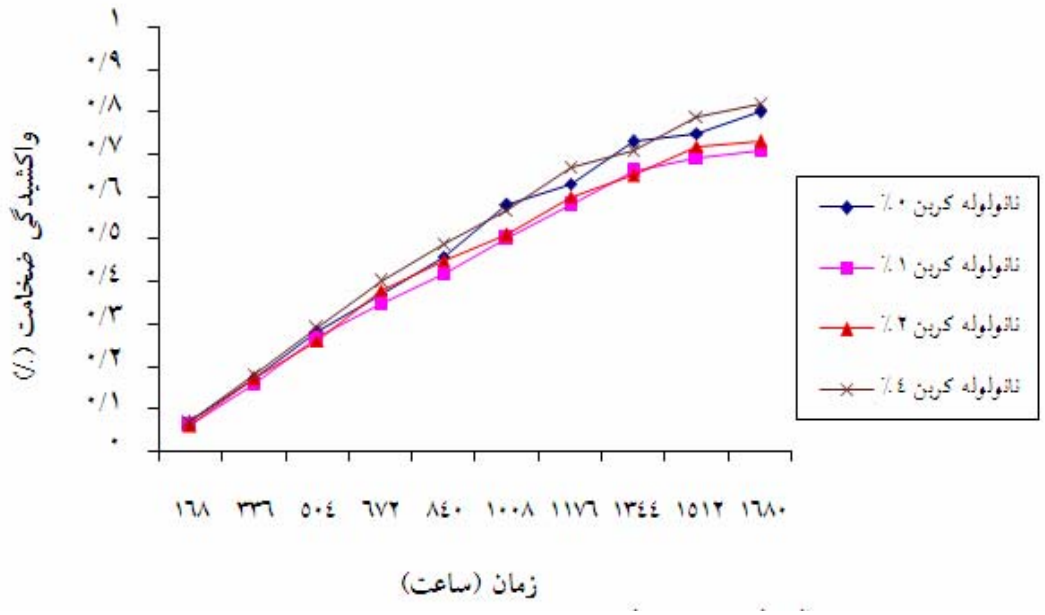
شکل ۷- چگونگی جذب آب چندسازه‌ها، از هفته اول تا هفته دهم

میزان واکشیدگی ضخامت نیز در چندسازه‌های حاوی ۱ و ۲ درصد نانولوله کربن چندیواره نسبت به دیگر چندسازه ها کمتر بود. ولی تفاوت موجود بین نتایج اندازه‌گیری واکشیدگی ضخامت چندسازه‌ها از نظر آماری معنی‌دار نیست (شکل ۸).

همچنین، چگونگی واکشیدگی ضخامت چندسازه‌ها، از هفته اول تا هفته دهم (۱۶۸ تا ۱۶۸۰ ساعت)، در شکل ۹ نشان داده شده است.



شکل ۸- تأثیر افزودن نانولوله کربن چندیواره بر واکشیدگی ضخامت بلند مدت



شکل۹- چگونگی واکشیدگی ضخامت چندسازه‌ها، از هفته اول تا هفته دهم

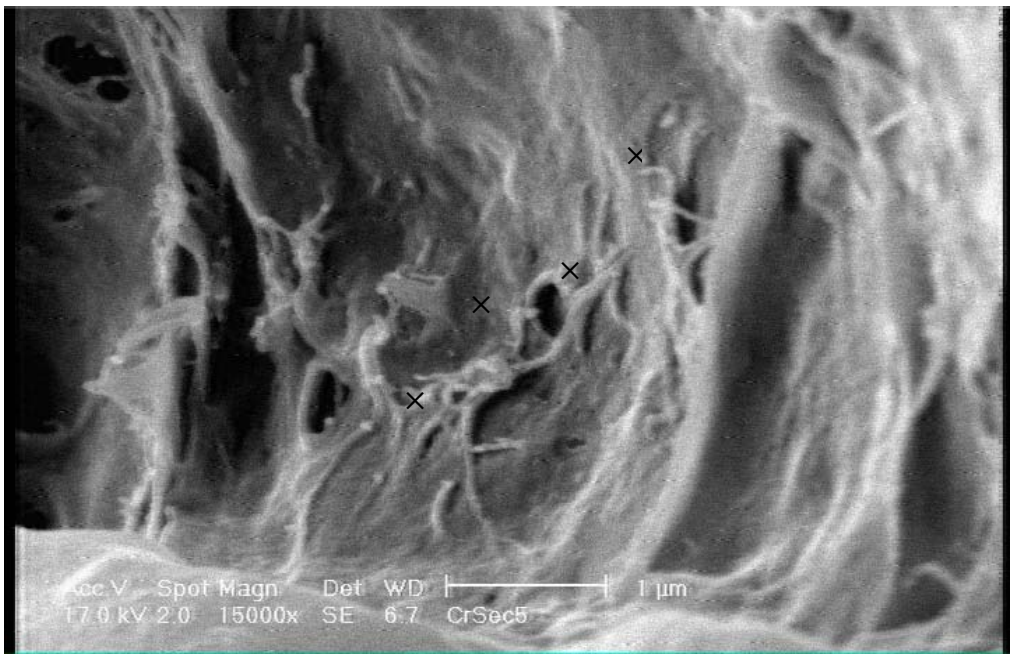
بحث

ویژگی‌های مکانیکی

تجزیه و تحلیل نتایج اندازه‌گیری ویژگی‌های مقاومتی نانوچندسازه الیاف بازیافتی کاغذهای قهوه‌ای/ پلی‌پروپیلن و نانولوله کربن نشان داد که در اثر افزودن مقدارهای مختلف نانولوله کربن چنددیواره بر مقاومت‌های مکانیکی چندسازه‌های تولید شده نتایج متفاوتی به‌دست آمده ولی در اغلب موارد معنی‌دار می‌باشد. بیشترین مقاومت به ضربه معادل ۵۸/۰۷۵ ژول بر متر با افزودن مقدار یک درصد نانولوله کربن چنددیواره به ترکیب چندسازه به‌دست آمده و افزودن سایر مقدارهای نانولوله کربن چنددیواره نه تنها قادر به بهبود این ویژگی نشده بلکه مقاومت به ضربه ایزود را کاهش نیز داده است. الیاف نانولوله کربن چنددیواره قطری در ابعاد نانو و طولی در ابعاد میکرون دارند بنابراین این الیاف می‌توانند به داخل سوراخ‌های ریز موجود در ماده زمینه که در اثر ورود الیاف OCC به ماده زمینه بوجود می‌آیند وارد شده و با پر کردن فضاهای خالی ریز در چندسازه، ماده‌ای یکنواخت‌تر و همگن‌تر ایجاد کنند. در اثر این همگنی، مقاومت به ضربه ایزود افزایش یافته است. ولی اگر از مقادیر بیشتر این نانولوله‌ها استفاده شود، تمرکز زیادتر آنها در زمینه پلیمری، از تشکیل اتصال بین الیاف سلولزی و پلی‌پروپیلن جلوگیری کرده و به دلیل فشردگی زیادتر ماده‌ای شکننده به وجود می‌آید. این رفتار نانولوله کربن چنددیواره موجب اُفت مقاومت به ضربه می‌شود.

افزودن نانولوله کربن چنددیواره به چندسازه در هیچ یک از سطوح ۱، ۲ و ٤ درصد تأثیر معنی‌داری بر مقاومت کششی و مدول‌الاستیسیته کششی نمونه‌های آزمونی نداشت. Kumar و همکاران (۲۰۰۱) در بررسی خود اثر افزودن ۵ درصد نانولوله کربن بر مقاومت و

مدول کششی پلی‌پروپیلن خالص را مورد بررسی قرار دادند و عنوان می‌کردند که با افزودن نانولوله کربن به پلی‌پروپیلن مقاومت کششی آن از ٤٩٠ مگاپاسکال به ٥٧٠ مگاپاسکال افزایش یافت. به علاوه مدول‌الاستیسیته کششی از ٤/٦ گیگا پاسکال به ٧/١ گیگاپاسکال افزایش یافت. این یافته نشان‌دهنده توان تقویت‌کنندگی نانولوله‌های کربنی تک‌دیواره در مورد پلیمرهاست. ولی در این بررسی از الیاف OCC استفاده شده که طبیعتاً نتایج متفاوتی با پلی‌پروپیلن خالص دارد. البّته بیشترین مقدار مقاومت‌خمشی معادل ٦٦/٥ مگاپاسکال، با افزودن ٢٪ نانولوله کربن چنددیواره به ترکیب چندسازه حاصل شده است. با توجه به این که الیاف نانولوله کربن دارای ضریب کشیدگی بالایی می‌باشد و اگر به مقدار مناسبی به ترکیب چندسازه افزوده شود و پراکندگی این الیاف در ماده زمینه به خوبی انجام شود می‌تواند موجب افزایش مقاومت‌خمشی چندسازه شود. Tavasoli Farsheh و همکاران (٢٠١١)، اثر افزودن نانولوله‌های کربن چنددیواره در سه سطح ٠، ١ و ٢ درصد را بر مقاومت و مدول‌الاستیسیته خمشی چندسازه ساخته شده از پلی وینیل کلراید (PVC)، آرد چوب و عوامل کف‌زا مورد بررسی قرار دادند. نتایج به دست آمده نشان داده که با افزایش مقدار نانولوله کربن چنددیواره، مقاومت و مدول‌الاستیسیته خمشی چندسازه افزایش می‌یابد و بیشترین مقدار مقاومت و مدول‌الاستیسیته خمشی به‌ترتیب معادل ١٠/٢ و ٢٥٠٠ مگاپاسکال در اثر افزودن ٢٪ نانولوله کربن چنددیواره به ترکیب چندسازه به‌دست آمده است که نشان‌دهنده اثر تقویت‌کنندگی الیاف نانولوله کربن چنددیواره است.



شکل ١٠- تصویر ریزنگار الکترونی (SEM) مقطع شکست نمونه حاوی ٤٪ نانولوله کربن چنددیواره

تفاوت قابل ملاحظه‌ای بین زیادترین مقدار مقاومت‌خمشی به‌دست آمده توسط توسلی و همکاران (۲۰۱۱) با مقدار بیشینه مقاومت‌خمشی به دست آمده در این تحقیق (معادل ٦٦/٥ مگاپاسکال) وجود دارد. این تفاوت می‌تواند به دلیل وجود ماده کف‌زا در چندسازه ساخته شده توسط توسلی و همکاران باشد. بیشترین مقادیر مدول‌الاستیسیته (۲۷٤۹ مگاپاسکال) در اثر افزودن ٤ درصد نانولوله کربن چنددیواره بوده است. تصاویر مقطع نمونه حاوی ٤٪ نانولوله کربن چنددیواره که به وسیله ریزنگار الکترونی (SEM) ثبت شده در شکل ۱۰ نشان داده شده است. در این تصویر حضور الیاف نانولوله کربن در زمینه پلیمر قابل مشاهده است و نشان‌دهنده نفوذ این الیاف ریز در فضاهای خالی چندسازه و اثر تقویت‌کنندگی آن است.

Shi و همکاران (۲۰۰۸)، اثر افزودن نانولوله‌های کربن در چهار سطح ۰/٦۱، ۲/۹۸، ۳/۳۸ و ۳/۹۱ درصد بر مدول‌الاستیسیته نمونه‌های ساخته شده از پلی‌پروپیلن و آرد چوب کاج جنوبی را مورد بررسی قرار دادند و نتایج به‌دست آمده حکایت از این داشت که با افزودن نانولوله کربن به ترکیب، مدول‌الاستیسیته نمونه‌های چوب پلاستیک افزایش پیدا کرد و بیشترین مقدار افزایش با اضافه کردن نانولوله کربن در سطح ۰/٦۱ درصد به مقدار ۷۵۹۰ مگاپاسکال ثبت شد که در مقایسه با نتایج حاصل از نمونه‌های با ترکیب مشابه ولی بدون حضور نانولوله کربن، ۵۹ درصد افزایش نشان می‌داد. البته اختلاف میان مقادیر اندازه‌گیری شده در این بررسی و نتایج موجود در مقالات چاپ شده به دلیل استفاده از انواع متفاوت پُرکننده و یا تقویت‌کننده است.

ارتقاء خواص مقاومتی چندسازه پلی‌پروپیلن و الیاف بازیافتی کاغذهای قهوه‌ای (OCC) توسط افزودن نانولوله‌های کربن چنددیواره می‌تواند متناسب با ترکیب ماده اولیه، مخصوصاً ماده پرکننده یا تقویت‌کننده متفاوت باشد، به علاوه اینکه کاربرد محصول و ویژگی مقاومتی آن می‌تواند در انتخاب ترکیب چندسازه تأثیر بگذارد. در صورتی که افزایش مقاومت به ضربه مدنظر باشد می‌توان نانولوله کربن چنددیواره را به سطح ۱ درصد محدود کرد، ولی اگر افزایش مقاومت‌خمشی اهمیت زیادتری داشته باشد، سطح ۲ درصد و در مورد افزایش مدول‌الاستیسیته سطوح ۲ و ٤ درصد، به‌عنوان مقادیر مناسب جهت ارتقاء مقاومت به ضربه، خمش و افزایش مدول‌الاستیسیته چندسازه به‌کار برده می‌شود.

جذب آب و واکشیدگی ضخامت

افزودن یک درصد نانولوله کربن چنددیواره به ترکیب چندسازه قادر به پر کردن منافذ ریز موجود در ساختار چندسازه بوده که در اثر ورود الیاف سلولزی در ماده زمینه به وجود آمده‌اند و در این حالت نفوذ آب به داخل چندسازه محدودتر شده و در نتیجه میزان جذب آب و به تبع آن میزان واکشیدگی ضخامت کاهش خواهد یافت. همچنین ورود الیاف نانولوله کربن، موجب کریستالی‌تر شدن ساختار پلی‌پروپیلن می‌شود که بدین ترتیب میزان جذب آب توسط چندسازه کاهش می‌یابد. اما نانولوله‌های کربن، دارای سطح ویژه فوق‌العاده بالایی هستند، در صورتی که بیشتر از مقداری معین در ترکیب چندسازه وارد شوند به مقدار بیشتر از حد مورد نیاز در ترکیب چندسازه پخش می‌شوند و از اتصال بین الیاف سلولز و ماده پلیمری، کم می‌کنند. در این حالت نفوذ آب به داخل چندسازه آسان‌تر می‌شود. به علاوه اینکه عقیده بر این است که

نانولوله‌ها دارای خاصیت موئینگی بالایی هستند (Wilson, 2002) و قادر هستند آب را به درون خود کشیده و موجب افزایش جذب آب و به تبع آن واکشیدگی ضخامت چندسازه شوند.

سپاسگزاری

این پژوهش بخشی از پایان‌نامه مقطع کارشناسی ارشد مؤلف اول می‌باشد، با توجه به اینکه دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرج، امکانات پژوهشی و آزمایشگاهی را فراهم کرده است، لازم می‌دانیم تشکر و قدردانی نماییم.

منابع مورد استفاده

- اسموک، گ. فناوری خمیر و کاغذ. ترجمه: سید احمد میرشکرایی، انتشارات آییژ، تهران، ۵۲۰ صفحه.
- کاظمی‌نجفی، س.، مصطفی‌زاده، م.، چهارمحالی، م.، تجویدی، م.، ۱۳۸٦. اثر مقدار پرکننده و جذب آب بر رفتار خزشی کامپوزیت‌های ساخته شده از ضایعات پلی اتیلن سنگین و آرد MDF. مجله علوم و تکنولوژی پلی‌مر، ۲۱(۱):۵۹-۵۳.
- نوربخش، ا.، دوست حسینی، ک.، کارگرفرد، ا.، گلبابایی، ف.، حاجی‌حسنی، ر.، ۱۳۸٦. بررسی تولید کامپوزیت چوب پلاستیک با استفاده از ضایعات کارتن باطله(OCC) به روش ریژش کیک. دو فصلنامه علمی- پژوهشی تحقیقات علوم چوب و کاغذ ایران، ۲۳(۲) : ۱۰۱-۹۱ ، ۱۳۸۷.
- ویلسون، م.، (۲۰۰۲). نانو تکنولوژی: علم پایه و تکنولوژی نوظهور. ترجمه: مهندس جعفر وطن‌خواه دولت‌سرا، انتشارات طراح، تهران، ۳۳٦ صفحه.
- Andrews, R., Weisenberger, M. C., 2003. Carbon nanotube polymer composites. Journal of Current Opinion in Solid State and Materials Science. 8(2004)31-37.
- Bakunin, V. N., Suslov, A. YU., Kuzmina, G.N., Parenago, O.P., 2004. Synthesis and application of inorganic nano particles as Lubricant Components a review. Journal of NanoParticle. 6:273-284.
- Gacitua, W., Ballerini, A., Zhang, J., 2005. POLYMER NANOCOMOPOSITES: SYNTHETIC AND NATURAL FILLERS A REVIEW. Journal of Cienciay Tecnologia. 7(3): 159-178.
- Kumar, S., Doshi, H., Srini Sarao, M., Park, J.O., Schiraldi, D. A., 2001. Fibers from Polypropylene/ nano carbon fiber composites. Journal of Polymer. 43 (2002):1701-1703.
- Lijima, S., 1999. Helical microtublules of graphitic carbon. Journal of Nature. 354:56-8.
- Mingyin, J., Ping, X., Yongsheng, ZH, Kejian, W., 2009. Creep Behaviour of Wood Flour/ Poly (Vinil choloride) Composites. Journal of Wuhan University of Technolotgy-Mater. 440-447.
- Rowell, R.M., Sandi, A. R., Gatenholm, D. F., and Jacobson, R. E., 1997. Utilization of natural fibers in plastic composites: problem and opportuntities in lignocellulosic composites. Journal of Composite. 18: 23-51.
- Shi, J., Zhang, J., U, Ch., Jr, P., Toghiani, H., Xue, Y., 2008. Preliminary study of the stiffness enhancement of Wood-plastic Composites using Carbon nanofibers. Journal of Holz Roh Werkst. 66:313-322.
- Tavasoli Farsheh, A., Talaeipour, M., Hemmasi, A. H., Khademieslam, H., Ghasemi, I., Masoomi, Z., 2011. Development of Fine-Celled Wood Fiber/ PVC Composites Foams Using Multi-Walled Carbon Nanotubes. Journal of World Applied Science. 13(2): 269-276.
- Valentini, L., Biagiotti, J., Kenny, J. M., Santucci, S., 2003. Morphological Characterization of single wall Carbon nano tubes/ PP composites. Journal of Composites Science and Technology. 63(2003):1149-1153.
- Verhey, A. S., Lacks, E. P,. Richter, L. D., Keranen, D. E., Larkin, M. G., 2002. Use of field takes to evaluate the decay resistance of wood fiber-thermoplastic composites. Forest Products Journal. 53(5): 67-74.
- Zhang, Z., Yang, L., Friedrich, K., 2004. Creep Resistant Polymeric Nanocomposites. Journal of Polymer. 45(10): 3481-3485.

Investigation on the impact of multi wall carbon nano tubes (MWCNT) addition on the mechanical properties, water absorption and thickness swelling of polypropylene/old corrugated container fibers composite

Asgary, A.R.[1*], Sepidehdam, M.J [2] and Jahan Latibari, A.[3]

1*- Corresponding author, M.Sc. Student, Wood and Paper Science and Technology Dept. Islamic Azad University Karaj, Iran
E-mail: alireza_asgary63@yahoo.com
2-Assistant Professor, Wood and Paper Science and Technology Dept. Islamic Azad University Karaj, Iran
3-Associate Professor, Wood and Paper Science and Technology Dept. Islamic Azad University Karaj, Iran

Received: April, 2011 Accepted: April, 2012

Abstract

The impact of Multi Wall Carbon Nano Tubes addition on mechanical properties, water absorption and thickness swelling of polypropylene/old corrugated container (OCC) fiber composites was investigated. Polypropylene/ OCC fiber composite was prepared using 30% OCC fiber, 67% polypropylene and 3% MAPP. Three levels of multi wall carbon nano tubes (1, 2, 4% based on the weight of fiber/polypropylene/MAPP mixture) were added. Composite compound was prepared using a Haake mixer and the test samples were extruded. The results of strength measurement indicated that when 1 or 2% multi wall carbon nanotubes were added, Izod impact strength and flexural strength improved. Higher flexural modulus of elasticity was reached as either 2 or 4% multi wall carbon nano tubes was added. The performance of 4% multi wall carbon nano tubes on flexural modulus of elasticity was superior. Lower water absorption and thickness swelling levels were observed, as 1% multi wall carbon nano tubes was added.

Key words: Multi wall carbon nano tubes, flexural strength, tensile strength, izod impact