فصلنامه علمی – پژوهشی تحقیقات علوم چوب و کاغذ ایران
جلد ۳۲، شماره ۱، صفحه ۵۶-۴۷، (۱۳۹۶)
شناسه دیجیتال (DOI):10.22092/IJWPR.2017.107063

ارزیابی ویژگی‌های مکانیکی چندسازه الیاف کارتن کنگره‌ای کهنه- پلی‌پروپیلن تقویت‌شده با نانولوله‌های کربنی

روزبه آبیدنژاد[۱]، احمد جهان لتیباری[۲*] و مهران روح نیا[۳]

۱- کارشناس ارشد، گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرج، ایران

۲*- نویسنده مسئول، استاد، گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرج، ایران، پست الکترونیک: latibari.aj@gmail.com

۳- استاد، گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرج، ایران

تاریخ دریافت: مهر ۱۳۹۵ تاریخ پذیرش: آذر ۱۳۹۵

چکیده

در این پژوهش اثر نانولوله‌های کربنی چند دیواره (فراوری‌شده و فراوری نشده) بر ویژگی‌های مکانیکی چندسازه ساخته‌شده از الیاف کارتن کنگره‌ای کهنه- پلی‌پروپیلن شامل ۲۰٪ الیاف کارتن **کنگره‌ای کهنه**، ۸۰٪ پلی‌پروپیلن و صفر یا ۳٪ مالئیک‌انیدرید پلی‌پروپیلن موردبررسی قرارگرفته است. برای فراوری کردن نانولوله‌های کربنی از روش اکسیداسیون اسیدی (مخلوط اسیدسولفوریک و اسید نیتریک) استفاده شد. نانولوله کربنی چند دیواره فراوری نشده و فراوری‌شده در ۳ سطح ۰، ۰/۵ و ۱ درصد مورداستفاده قرارگرفته است. ویژگی‌های مکانیکی چندسازه بر اساس دستورالعمل‌های ASTM اندازه‌گیری شده است. نتایج نشان داد که با افزایش میزان نانولوله‌های کربنی ویژگی‌های کششی افزایش‌یافته ولی فراوری نانولوله کربنی تأثیر معنی‌داری نداشته است. تأثیر افزودن نانولوله کربنی بر ویژگی‌های خمشی در سطح اعتماد آماری ۹۹٪ معنی‌دار شده است و در اثر افزودن مقادیر زیادتر این ماده هر دو ویژگی مدول‌الاستیسیته خمشی و مقاومت‌خمشی زیاد شده است. مقاومت به ضربه نمونه‌ها نشان می‌دهد که در اثر زیادشدن نانولوله کربنی و مقدار جفت‌کننده این ویژگی افزایش می‌یابد. عکس‌برداری با میکروسکوپ الکترونی روبشی تقویت اتصال بین اجزای تشکیل‌دهنده چندسازه را نشان می‌دهد. در چندسازه‌های بدون مواد جفت‌کننده، به دلیل اتصال ضعیف بین الیاف و پلی‌پروپیلن، این الیاف بدون شکسته شدن از ملات پلاستیک خارج‌شده‌اند. ولی در نمونه‌های حاوی جفت‌کننده، گسیختگی در الیاف مشاهده می‌گردد.

واژه‌های کلیدی: چندسازه، نانولوله کربنی، میکروسکوپ الکترونی، ویژگی‌های مکانیکی، الیاف کارتن کنگره‌ای کهنه

مقدمه

چندسازه از ترکیب دو یا چند ماده به‌طوری‌که از نظر شیمیایی مجزا و غیر محلول در یکدیگر باشند و بازده و خواص سازه‌ای این ترکیب نسبت به هریک از اجزاء تشکیل‌دهنده آن به‌تنهایی، در موقعیت برتری قرار بگیرد، ساخته می‌شود. به‌عبارت‌دیگر چندسازه‌ها به دسته‌ای از مواد اطلاق می‌شود که آمیزه‌ای از مواد مختلف و متفاوت در شکل و ترکیب باشند و اجزاء تشکیل‌دهنده آنها هویت خود را حفظ کرده، در یکدیگر حل‌نشده و باهم ممزوج نمی‌شوند. چندسازه از دو قسمت اصلی ماتریس و تقویت‌کننده تشکیل‌شده است. ماتریس با احاطه کردن تقویت‌کننده آن را در محل نسبی خودش نگه می‌دارد و تقویت‌کننده موجب

بهبود خواص مکانیکی ساختار می‌گردد. به‌طورکلی تقویت‌کننده می‌تواند به‌صورت فیبرهای کوتاه و یا بلند و پیوسته باشد. قدیمی‌ترین مثال از چندسازه‌ها مربوط به افزودن کاه به گل برای تقویت گل مورداستفاده در بناها بوده است. قدمت این کار به ۴۰۰۰ سال قبل از میلاد مسیح بازمی‌گردد. در بتن مسلح یا تقویت‌شده، میله‌های فلزی استحکام کششی لازم را در آن ایجاد می‌کنند، زیرا بتن یک ماده ترد است و مقاومت اندکی در برابر بارهای کششی دارد. تاریخچه مواد پلیمری تقویت‌شده با الیاف به سال‌های ۱۹۴۰ در صنایع دفاعی و به‌خصوص کاربردهای هوا – فضا برمی‌گردد.

در سال‌های اخیر تحقیقات و پژوهش‌های زیادی در زمینه‌های مختلف چندسازه‌های با الیاف سلولزی همراه با نانولوله‌های کربنی انجام‌شده است.

Mahajan و همکاران (۲۰۱۳) در پژوهشی تجزیه گرمایی نانولوله‌های کربنی چند دیواره در محیط‌های مختلف را موردبررسی قرار داده و عنوان می‌کنند که رفتار تجزیه گرمایی نانولوله‌ها نقشی کلیدی را در فرایند یکپارچه‌سازی دارد. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که نانولوله‌های کربنی چند دیواره در هوای آزاد و فشار معمولی تا دمای ۴۲۰ درجه سانتی‌گراد پایدار هستند. در دماهای بالاتر از ۴۲۰ درجه سانتی‌گراد کاهش جرم به دلیل اکسیداسیون کربن آمورف باقی‌مانده در نانولوله‌های کربنی اتفاق می‌افتد. مطالعات با میکروسکوپ الکترونی عبوری، تخریب دیواره‌های نانولوله‌های کربنی چند دیواره در دمای ۵۰۰ درجه سانتی‌گراد و فشار یک اتمسفر را تأیید می‌کند.

Madeshwaran و همکاران (۲۰۱۳) در پژوهشی اثر فراوری نانولوله‌های کربنی چند دیواره به همراه پلی آمید آروماتیک چند شاخه را بر روی بهبود خواص مکانیکی چندسازه پلی متیل متاکریلات بررسی کردند. طیف‌سنجی مادون‌قرمز با انتقال فوریه حضور گروه‌های آمید را ثابت کرده است. مقایسه چندسازه حاوی نانولوله کربنی و چندسازه حاوی نانولوله کربنی فراوری‌شده توسط میکروسکوپ الکترونی عبوری، پخشندگی بهتر نانولوله‌های فراوری‌شده را در ماتریس پلیمری نسبت به نانولوله‌های فراوری نشده تأیید می‌کند. همچنین چندسازه‌های حاوی نانولوله کربنی فراوری‌شده بیشترین میزان مدول‌الاستیسیته خمشی و کششی و بیشترین میزان کرنش را در هنگام شکست نشان می‌دهند.

Stobinski و همکاران (۲۰۱۰) در پژوهشی خالص‌سازی و اکسیداسیون نانولوله‌های کربنی چند دیواره را به‌وسیله نیتریک اسید توسط طیف‌سنجی مادون‌قرمز با انتقال فوریه و مدل‌های مختلف طیف‌سنجی الکترونی بررسی کردند. در این پژوهش برای خالص‌سازی، اکسیداسیون و فراوری نانولوله‌های کربنی چند دیواره، آنها را به همراه نیتریک اسید ۶۸٪ در دمای ۱۲۰ درجه سانتی‌گراد قراردادند. نتایج طیف‌سنجی مادون‌قرمز با انتقال فوریه و پراش اشعه ایکس نشان می‌دهد که گروه‌های عاملی مانند کربوکسیل، هیدروکسیل، کربونیل، اتری، استری و اسید انیدرید بر سطح نانولوله‌های کربنی ایجادشده است. همچنین نتایج نشان می‌دهد که دانسیته نانولوله‌های کربنی چند دیواره پس از فراوری افزایش قابل‌توجهی داشته است.

Bikiaris و همکاران (۲۰۰۸) در پژوهشی اثر نانولوله کربنی چند دیواره فراوری‌شده را بر روی ویژگی‌های مکانیکی، نفوذپذیری، حرارتی و پایداری اکسیداسیون حرارتی نانو چندسازه پلی‌پروپیلن موردبررسی قراردادند. نتایج طیف‌سنجی جرمی نشان می‌دهد که در اثر فراوری کردن نانولوله‌های کربنی، تشکیل گروه‌های عاملی کربوکسیلیک، کربونیل و هیدروکسیل بر روی سطح نانولوله‌ها تشکیل می‌شود و این گروه‌های عاملی باعث افزایش سطح واکنش‌پذیری نانولوله‌ها می‌شوند. همچنین فراوری نانولوله‌ها باعث کوتاه‌تر شدن طول آنها می‌شود و کوتاه‌تر شدن طول نانولوله‌ها با افزایش زمان فراوری بیشتر می‌شود. همچنین حضور گروه‌های عاملی هیدروکسیل و کربوکسیل باعث آب‌دوست شدن نانولوله‌های کربنی می‌شود.

May-Pat و همکاران (۲۰۱۲) در پژوهشی ویژگی‌های مکانیکی چندسازه متشکل از پلی‌اتیلن ترفتالات و نانولوله کربنی چند دیواره فراوری‌شده با اسید را بررسی کردند.

نتایج بیانگر آن است که مقاومت به کشش در تیمار حاوی پلی‌اتیلن ترفتالات و تیمار حاوی پلی‌اتیلن ترفتالات و نانولوله کربنی فراوری نشده تفاوت آشکاری نداشته است. درحالی‌که تیمارهای حاوی نانولوله کربنی فراوری‌شده افزایشی ۴۷ تا ۵۵ درصدی را در مقاومت به کشش نشان می‌دهند. علت افزایش در مقاومت‌های مکانیکی وجود گروه‌های عاملی کربوکسیل و هیدروکسیل که باعث افزایش انتقال حرارت در ماتریس پلیمری در فرایند اکستروژن و افزایش میزان پیوندهای کووالانسی در سطح مشترک پلیمر و نانولوله کربنی شده، بوده است.

Rahmanian و همکاران (۲۰۱۳) در پژوهشی اثر نانولوله‌های کربنی و فیبرهای کربن کوتاه را بر روی خواص مکانیکی چندسازه اپوکسی موردبررسی قراردادند. نتایج آنان نشان داد که با افزایش میزان نانولوله کربنی و فیبرهای کربن مدول‌الاستیسیته افزایش داشته و از ۱/۷ گیگاپاسکال در نمونه شاهد به ۲/۷ گیگاپاسکال در نمونه حاوی ۰/۳٪ نانولوله و ۳٪ فیبر رسیده است. میزان شکست از ۷٪ در نمونه شاهد به ۲/۵٪ در نمونه حاوی ۰/۳٪ نانولوله و ۳٪ فیبر کربن کاهش داشته است. تنش کششی از ۵۵ مگاپاسکال در نمونه شاهد به ۷۵ مگاپاسکال در نمونه ۰/۲٪ نانولوله و ۱٪ فیبر کربن افزایش داشته است. به‌طورکلی در این تحقیق با توجه به مدول‌الاستیسیته نانولوله کربن، فیبر کربن و اپوکسی (به‌ترتیب ۴۵۰، ۲۱۰ و ۱/۷۵ گیگاپاسکال) و با فرض اینکه تمامی نمونه‌ها یک درصد فیبر کربن داشته باشند با افزایش میزان نانولوله‌های کربنی از ۰٪ تا ۰/۶٪ مدول‌الاستیسیته چندسازه افزایش پیدا می‌کند.

Rodrigue (۲۰۱۳) تأثیر جهت‌گیری و مقدار نانولوله‌های کربنی را بر روی خواص مکانیکی چندسازه با پایه پلی‌پروپیلنی موردبررسی قراردادند. نتایج او نشان داد که نانولوله‌های با زاویه صفر درجه به‌خوبی استحکام چندسازه را افزایش می‌دهند، اما در مورد نانولوله با زاویه ۳۰ درجه و بالاتر تفاوت معنی‌دار نیست. همچنین نانولوله‌ها با زاویه صفر درجه بیشترین تنش برشی را از خود نشان دادند. در مقادیر کم نانولوله‌ها (۰/۷۴٪ و ۰/۰۷۱٪) تغییر معنی‌داری در مدول‌الاستیسیته مشاهده نشد اما در مقادیر زیادتر (۲/۳۲۵٪) مدول‌الاستیسیته ۲/۴ برابر نمونه شاهد شد.

Shimamura و همکاران (۲۰۱۳) خواص مکانیکی چندسازه اپوکسی– نانولوله کربنی تولیدشده به روش پالتروژن را موردبررسی قراردادند. نتایج آنان نشان داد که با افزایش میزان نانولوله‌های کربنی مدول یانگ، مقاومت کششی و دانسیته افزایش قابل‌توجهی داشت، بااین‌حال فشار شکست کاهشی نسبی را نشان داد.

در این بررسی استفاده از نانولوله‌های کربنی چند دیواره به‌عنوان عامل بهبوددهنده ویژگی‌های مکانیکی نانو چندسازه‌های تولیدشده و همچنین تأثیر فراوری نانولوله‌های کربنی توسط فرایند اکسیداسیون اسیدی بر روی ویژگی‌های چندسازه‌ها انجام شده است.

مواد و روش‌ها

الیاف بازیافتی: از الیاف کارتن کنگره‌ای کهنه (OCC[1]) به میزان ۲۰٪ وزن چندسازه به‌عنوان تقویت‌کننده در چندسازه استفاده‌شده است.

پلی‌پروپیلن: پلی‌پروپیلن از نوع PI0800، با شاخص جریان مذاب (MFI[2]) ۷ تا ۱۰ گرم بر ۱۰ دقیقه بر اساس استاندارد ASTM- D1238 و دمای ذوب ۱۶۵ –۱۷۵ درجه سانتی‌گراد تولید صنایع پتروشیمی خلیج‌فارس (مجتمع پتروشیمی بندر امام) انتخاب‌شده است.

نانولوله کربنی چند دیواره: نانولوله‌های کربن از انواع لوله‌ای شکل با ضریب کشیدگی فوق‌العاده بالایی هستند که انواع چند دیواره آن از تعدادی لوله‌های متحدالمرکز تشکیل‌شده‌اند. در این بررسی نانولوله‌های کربن چند دیواره فراوری‌شده و فراوری نشده با طول ۱۰ میکرومتر و قطر ۱۰ تا ۳۰ نانومتر مورداستفاده قرارگرفته‌اند. نانولوله‌ها از پژوهشگاه صنعت نفت ایران تهیه‌شده‌اند.

1-Old Corrugated Container
2-Melt Flow Index

جفت کننده شیمیایی: جفت‌کننده شیمیایی مالئیک‌انیدرید پلی‌پروپیلن(MAPP[1])، با مارک تجاری Sigma-Aldrich و مشخصات Mw=9100(GPC), Mn=3900(GPC) گرانروی بروکفیلد در ۱۹۰ درجه سانتی‌گراد، ۴ پوآز، نقطه ذوب ۱۵۶ درجه سانتی‌گراد و دانسیته سیال۰/۹۳۴ گرم بر سانتی‌متر مکعب در ۲ سطح ۰٪ و ۳٪ مورداستفاده قرار گرفت.

فعال‌سازی نانولوله‌های کربنی

نانولوله‌های کربنی توسط اکسیداسیون اسیدی و افزودن گروه‌های عاملی فعال‌شده‌اند. اکسیدکننده‌های مختلف گروه‌های عاملی متفاوتی مانند گروه‌های هیدروکسیل، کربوکسیلی، آلدئیدی، کتونی و استری در سطح نانولوله‌ها ایجاد می‌کنند. در این پژوهش نانولوله‌های کربنی در محلولی از نیتریک اسید و سولفوریک اسید به‌شرح زیر فعال‌سازی شدند.

(Madeshwaran *et al.*, Mahajan *et al.*, 2012; Ahmed Stobinski *et al.*, 2013; *et al.*, 2010; 2012; Bikiaris *et al.*, 2008).

ابتدا ۱۰ گرم نانولوله کربنی چند دیواره را در بالن حجمی به همراه ۱۰۰ سی‌سی نیتریک اسید ۶۳٪ (Merck) و ۳۰۰ سی‌سی سولفوریک اسید ۹۸٪ (Merck) قرار داده سپس با نصب مبرد روی بالن، محلول در دمای۱۵۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۶۰ دقیقه حرارت داده شد. پس‌ازآن محلول تا دمای محیط خنک شده و در مرحله بعد عملیات فیلتراسیون با استفاده از صافی کروزه[2] با درجه تخلخل ۳ میکرون انجام شد. در ادامه فرایند فیلتراسیون، به محلول آب مقطر (۲ بار تقطیر) اضافه کرده و این عمل آنقدر ادامه داده شده است تا PH محلول خروجی از صافی خنثی شود. در پایان نانو لوله کربنی را از روی صافی جمع کرده و در آون با دمای ۹۰ درجه سانتی‌گراد می‌گذاریم تا نانولوله‌های کربنی خشک‌شده و بتوان آنها را از روی سطح ظرف جمع‌آوری کرد.

1-Maleic Anhydride PolyPropylene
2- Crucible

ساخت نمونه

ساخت چندسازه‌ها به روش تزریق قالبی انجام‌شده است. ابتدا با استفاده از یک دستگاه اکسترودر تک ماردونه[3] (Collin) با دمای مخلوط سازی ۱۸۰ درجه سلسیوس و سرعت مخلوط سازی ۶۰ دور در دقیقه و زمان مخلوط‌سازی ۱۴ دقیقه مواد به‌طور کامل مخلوط شده‌اند. مواد خارج‌شده از دستگاه مخلوط کننده پس از خشک شدن در دمای محیط، با دستگاه آسیاب (Wieser, WGLS, 200-200) آسیاب شدند. گرانول‌ها به مدت ۴ ساعت در اتو در دمای ۸۰ درجه سلسیوس خشک شدند و بعد برای انجام عملیات تزریق به دستگاه تزریق انتقال یافتند. ساخت نمونه‌های آزمونی در کارگاه پلاستیک پژوهشگاه پلیمر و پتروشیمی ایران و با استفاده از یک دستگاه تزریق قالبی (ساخت ایمن ماشین ۱۳۷۶، ایران) انجام‌شده است. شرایط تزریق مواد به داخل قالب ها شامل سرعت بارگیری ۲۵ دور در دقیقه و دمای ۱۸۰ درجه سلسیوس انتخاب‌شده است.

اندازه‌گیری ویژگی‌ها

برای اندازه‌گیری ویژگی‌های مقاومتی: ابتدا، نمونه‌ها تحت شرایط استاندارد مشروط شده و بعد اندازه‌گیری ویژگی‌های مقاومتی بر اساس دستورالعمل‌های آئین‌نامه ASTM مربوط به پلاستیک شامل مقاومت به کشش (ASTM- D 638)؛ مقاومت به خمش (ASTM- D 790) و مقاومت به ضربه (ASTM- D 250) انجام شده است.

میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM[4])

به‌منظور شناخت مرفولوژی سطح شکست نمونه‌ها، تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی از مقاطع شکست تهیه‌شده است.

3- Single Screw Extruder
4-Scanning Electron Microscope

تجزیه‌وتحلیل آماری

پس از انجام آزمایش‌ها و جمع‌آوری داده‌ها، تجزیه‌وتحلیل نتایج، بر اساس آزمون فاکتوریل در قالب طرح کامل تصادفی انجام‌شده و برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون چند دامنه‌ای دانکن استفاده‌شده است.

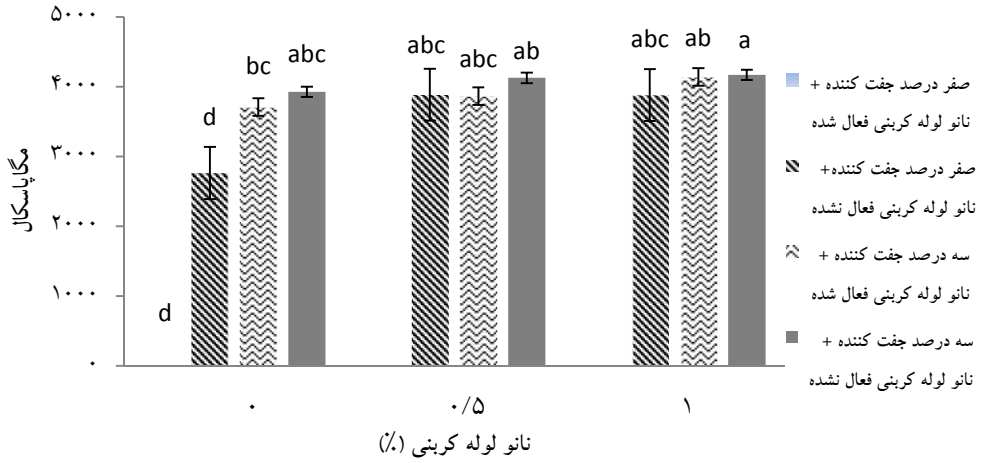
نتایج

در این پژوهش تأثیر فراوری نانولوله کربنی چند دیواره و جفت‌کننده بر ویژگی‌های مکانیکی چندسازه پلی‌پروپیلن / الیاف سلولزی مورد ارزیابی قرارگرفته است. نانولوله‌های کربنی چند دیواره (فراوری‌شده و فراوری نشده) در سه سطح ۰ – ۰/۵ و ۱٪ و همچنین جفت‌کننده مالئیک‌انیدرید پلی‌پروپیلن در دو سطح ۰ و ۳٪ مورداستفاده قرار گرفتند. خواص مکانیکی چندسازه‌ها شامل مدول‌الاستیسیته کششی، مقاومت به کشش، مدول‌الاستیسیته خمشی، مقاومت به خمش و مقاومت به ضربه فاق‌دار اندازه‌گیری شده است. نتایج اندازه‌گیری‌ها در شکل‌های ۱ تا ۵ و تجزیه‌وتحلیل آماری نتایج در جدول ۱ خلاصه‌شده است. گروه‌بندی میانگین‌ها در شکل‌های مربوطه با استفاده از حروف نشان داده‌شده است.

تأثیر عوامل موردبررسی بر مدول‌الاستیسیته کششی نمونه‌های چندسازه نشان می‌دهد که در اثر زیادشدن مقدار نانولوله کربنی چند دیواره و مقدار جفت‌کننده این ویژگی افزایش‌یافته و فراوری نانولوله کربنی تأثیری بر آن ندارد. تأثیر عوامل موردبررسی در سطح آماری ۹۹٪ معنی‌دار شده و میانگین‌ها در ۵ گروه قرارگرفته‌اند. نمونه‌های حاوی ۳٪ جفت‌کننده و ۱٪ نانولوله کربنی فراوری‌شده زیادترین میزان مدول‌الاستیسیته را داشته است. البته کمترین میزان مدول‌الاستیسیته نیز به نمونه بدون جفت‌کننده و نانولوله کربنی فراوری‌شده اختصاص یافت (شکل ۱).

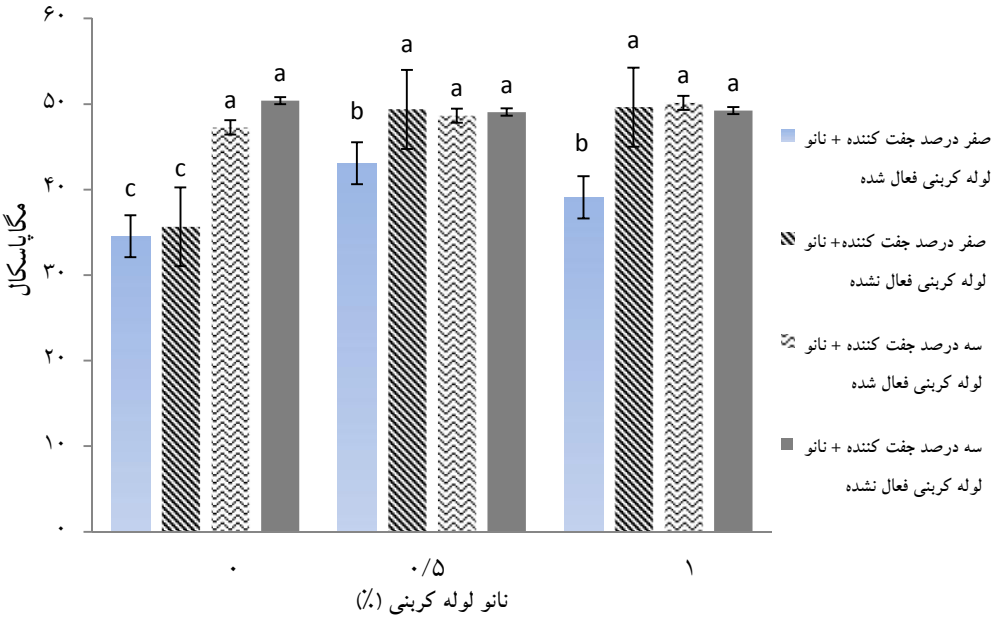
جدول ۱– تجزیه‌وتحلیل تأثیر عوامل موردبررسی بر ویژگی‌های مقاومتی نانو چندسازه پلی‌پروپیلن – الیاف سلولزی (مقدار F و سطح معنی‌داری)

آزمایش	مقاومت به کشش	مدول‌الاستیسیته کششی	مقاومت به خمش	مدول‌الاستیسیته خمشی	مقاومت به ضربه فاق‌دار
مقدار F و سطح معنی‌داری	۲۵/۶۲**	۱۴**	۶۳/۳۱**	۲۵/۹**	۸/۲۱**



شکل ۱– تأثیر سه عامل مقدار نانولوله کربنی، جفت‌کننده و فراوری نانولوله کربنی بر مقدار مدول‌الاستیسیته کششی چندسازه

تأثیر عوامل موردبررسی بر مقاومت به کشش نمونه‌ها نیز در سطح آماری ۹۹٪ معنی‌دار شده (جدول ۱) و میانگین‌ها در سه گروه قرارگرفته‌اند (شکل ۲). زیادترین میزان مقاومت به کشش مربوط به نمونه حاوی ۳٪ جفت‌کننده و همراه با نانولوله کربنی (۵۰/۳۹ مگاپاسکال) و یا بدون آنها بوده و کمترین آن مربوط به نمونه بدون جفت‌کننده و نانولوله کربنی (۳۴/۵۷ مگاپاسکال) بوده است. میانگین‌ها در سه گروه مجزا قرارگرفته‌اند (شکل ۲).

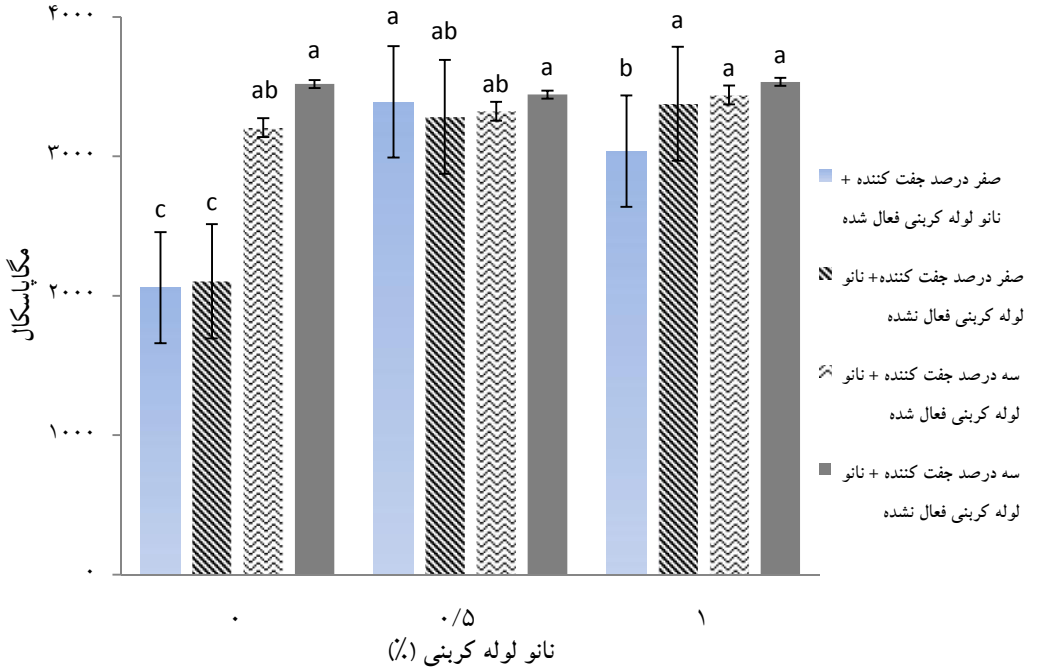


شکل ۲- تأثیر سه عامل مقدار نانولوله کربنی، جفت‌کننده و فراوری نانولوله کربنی بر مقدار مقاومت به کشش چندسازه

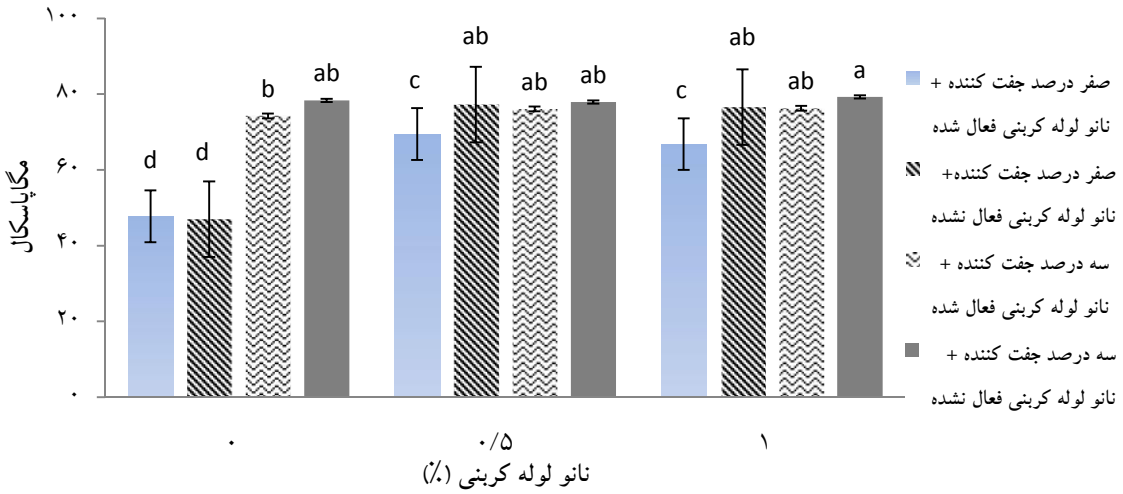
تأثیر سه عامل موردبررسی بر مدول‌الاستیسیته خمشی نمونه‌های نانو چندسازه حاوی نانولوله کربنی چند دیواره در سطح آماری ۹۹٪ معنی‌دار شده است. زیادترین میزان مدول‌الاستیسیته خمشی (۳۵۳۴ مگاپاسکال) مربوط به نمونه حاوی ۳٪ جفت‌کننده و ۱٪ نانولوله کربنی بدون فراوری و یا فراوری‌شده بوده و کمترین مدول‌الاستیسیته خمشی (۲۰۵۸ مگاپاسکال) مربوط به نمونه بدون جفت‌کننده و نانولوله کربنی است. میانگین‌ها در چهار گروه جداگانه قرارگرفته‌اند (شکل ۳).

تأثیر عوامل موردبررسی بر مقاومت‌خمشی نمونه‌های نانو چندسازه نیز در سطح آماری ۹۹٪ معنی‌دار شده است. بیشترین مقاومت به خمش (۷۹/۲۷ مگاپاسکال) مربوط به نمونه حاوی ۳٪ جفت‌کننده و ۱٪ نانولوله کربنی فراوری نشده بوده و کمترین میزان مقاومت به خمش (۴۶/۹۹ مگاپاسکال)، مربوط به تیمار بدون جفت‌کننده و نانولوله کربنی فراوری‌شده بوده است. میانگین‌ها در چهار گروه قرارگرفته‌اند (شکل۴).

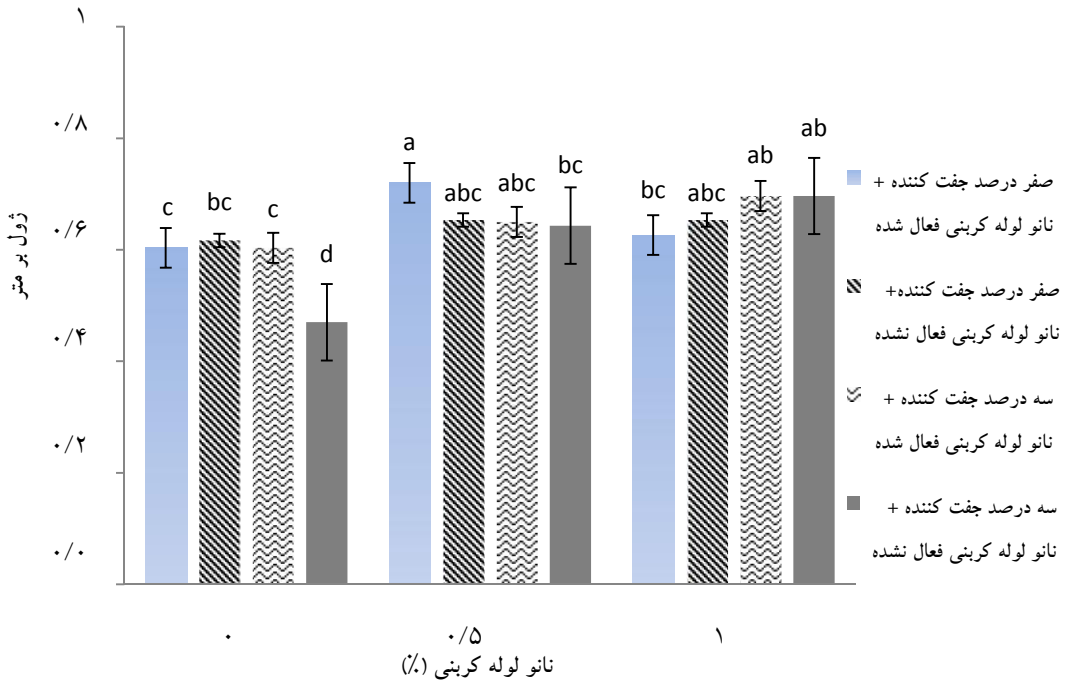
میانگین مقاومت به ضربه فاق‌دار نمونه‌های نانو چندسازه حاوی نانولوله کربنی چند دیواره فراوری‌شده و فراوری نشده در شکل ۵ نشان داده‌شده است. تأثیر عوامل موردبررسی بر این ویژگی در سطح آماری ۹۹٪ معنی‌دار شده است. بیشترین مقدار مقاومت به ضربه فاق‌دار (۰/۷۲ ژول‌برمتر) مربوط به نمونه حاوی ۰/۵٪ نانولوله کربنی فراوری‌شده و بدون جفت‌کننده و کمترین آن (۰/۴۷ ژول‌برمتر) مربوط به نمونه حاوی ۳٪ جفت‌کننده و بدون نانولوله کربنی بوده است. میانگین‌ها در شش گروه جداگانه قرارگرفته‌اند (شکل ۵).



شکل ۳- تأثیر سه عامل مقدار نانولوله کربنی، جفت‌کننده و فراوری نانولوله کربنی بر مقدار مدول‌الاستیسیته خمشی چندسازه



شکل ۴- تأثیر سه عامل مقدار نانولوله کربنی، جفت‌کننده و فراوری نانولوله کربنی بر مقدار مقاومت‌خمشی چندسازه



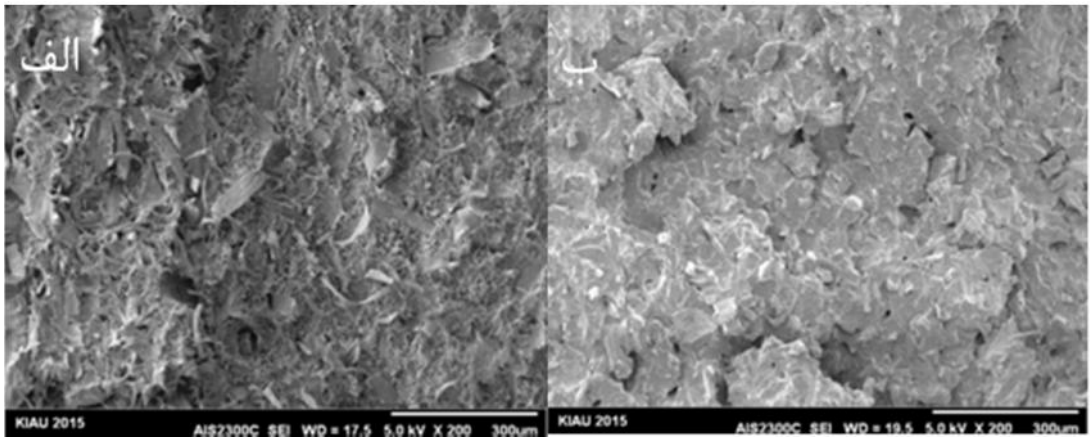
شکل ۵– تأثیر سه عامل مقدار نانولوله کربنی، جفت‌کننده و فراوری نانولوله کربنی بر مقدار مقاومت به ضربه فاق‌دار چندسازه

بحث

در این بررسی تأثیر فراوری نانولوله‌های کربنی چند دیواره و همچنین مقدار جفت‌کننده بر ویژگی‌های نانو چندسازه ارزیابی‌شده است. در اثر زیادتر شدن مقدار نانولوله کربنی در چندسازه‌ها ویژگی‌های مقاومتی بهبودیافته است. نانولوله کربنی ویژگی مقاومتی و نسبت طول به قطر بالایی دارند که این نکته می‌تواند در تقویت ویژگی مقاومتی چندسازه نقش مهمی داشته باشد (Sahoo *et al.*, 2010). به‌علاوه فراوری با اسید نانولوله‌های کربنی قادر به ایجاد گروه‌های فعال هیدروکسیلی و کربوکسیلی بر سطح آنها بوده و این گروه‌ها ویژگی آب‌گریزی نانولوله کربنی را به آب‌دوستی تبدیل می‌کنند و این پدیده به پخش بهتر نانولوله کربنی در ملات پلیمر کمک می‌کند (Bikiaris و همکاران، ۲۰۰۸; Osorio و همکاران، ۲۰۰۸; Ahmed و همکاران، ۲۰۱۳). افزودن جفت‌کننده نیز به بهبود ویژگی‌های مقاومتی انجامیده است که دور از انتظار نمی‌باشد.

میکروسکوپ الکترونی روبشی

تصاویر میکروسکوپ الکترونی تأییدکننده نتایج آزمون‌های مکانیکی بوده است. آنالیز تصاویر محل شکست نمونه‌ها نشان می‌دهد که در نمونه بدون نانولوله و جفت‌کننده، الیاف در سطح شکست از ماتریس پلی‌پروپیلن خارج‌شده که علت آن ضعیف بودن پیوندها در بین ماتریس پلیمری و فاز تقویت‌کننده است. درحالی‌که نمونه حاوی جفت‌کننده و نانولوله کربنی فراوری‌شده اتصال بهتر شده و به‌همراه آن مقاومت مکانیکی بهتری ایجادشده است. علت بهتر بودن اتصال در این نمونه وجود جفت‌کننده و احتمالاً ایجاد پیوند کووالانسی بین ماتریس پلیمری و فاز تقویت‌کننده، همچنین وجود نانولوله کربنی فراوری‌شده باعث پخشندگی بهتر مواد با یکدیگر بوده است (May-Pat *et al.*, 2012).



شکل ۶– الف) نمونه بدون نانولوله کربنی و جفت‌کننده، ب) نمونه حاوی ۳٪ جفت‌کننده و ۱٪ نانولوله کربنی فراوری‌شده

منابع مورداستفاده

-Ahmed, D.S., Haider, A.J. and Mohammad, M.R. 2013. Comparison of functionalization of multi-walled carbon nanotubes treated by olive oil and nitric acid and their characterization. Energy Procedia 36, 1111-1118.

-American Society of Testing and Material, 2014. ASTM annual book of testing methods, no. 10. Philadelphia, PA., USA.

-Bikiaris, D., Vassiliou, A., Chrissafis, K., Paraskevopoulos, K.M., Jannakoudakis, A., Docoslis, A., 2008. Effect of acid treated multi-walled carbon nanotubes on the mechanical, permeability, thermal properties and thermo-oxidative stability of isotactic polypropylene. Polymer Degradation and Stability, 93; 952- 967.

-Huang, J., Rodrigue, D., 2013. The effect of carbon nanotube orientation and content on the mechanical properties of polypropylene based composites. Materials and Design, 55; 653-663.

-Madeshwaran, S.R., Kwon, J.K., Cho, J.W. Functionalized multi-walled Carbon Nanotubes with Heyperbranched Aromatic Polyamide for Poly (methyl methacrylate)composites. Fibers and Polymers. 2013. Vol14. No2. 182-187

-Mahajan, A., Kingon, A., Kukovecz, A., Konya Z., Vilarinho, P.M., 2013. Studies on the thermal decomposition of multiwall carbon nanotubes under different atmospheres. Materials Letters. 90; 165-168.

-May-Pat, F.A., Yazdani-Pedram, M., Cauich-Rodriguez, J.V., 2011. Mechanical properties ofPET composites using multi-walled carbon nanotubes functionalized by inorganic and itaconic acids. Express Polymer Letters. Vol.6. No 2. (2012); 96-106

-Osorio, A.G., Silveira, I.C.L., Bueno, V.L., Bergman C.P. 2008. H2SO4/HNO3/HCL – Functionalizanion and its effect on dispersion of carbon nanotubes in aqueous media. Applied Surface Science, 225; 2485-2489

-Rahmanian,S., Suraya,A.R., Shazed,M.A., Zahari,R., Zainudin,E.S., 2013. Mechanical characterization of epoxy composite with multiscale reinforcements: Carbon nanotubes and short carbon fibers. Materials and Design,60; 34-40.

-Sahoo, N.G., Rana, S., Cho, J.W., Li, L., Chan, S.H., 2010. Polymer nanocomposites based on functionalized carbon naotubes. Prog in polymer Sci,35; 837- 867.

-Shimamura, Y., Oshima, K., Tohgo, K., Fujii, T., Sirasu, K., Yamamoto, G., Hashida, T., Goto, K., Ogasawara, T., Naito, K., Nakano, T., Inoue, Y., 2013. Tensile mechanical properties of carbon nanotube/epoxy composite fabricated by pultrusion of carbon nanotube spun yarn perform. Composites: Part A,62; 32-38.

-Stobinski, L., Lesiak, B., Kover, L., Toth, J., Biniak, S., Trykowski, G., Judek, J.,2010. Multiwall carbon nanotubes purification and oxidation by nitric acid studied by the FTIR and electron spectroscopy methods. Journal of Alloys and compounds.501; 77-84.

Evaluation of mechanical properties of old corrugated container fibers – polypropylene composites reinforced with carbon nanotubes (CNT)

R. Abidnejad[1], A. Jahan Latibari [2*]and M. Roohnia[3]

1-M.Sc., Department of Wood and Paper Science and Technology, Karaj Branch, Islamic Azad University, Karaj, Iran
2*- Corresponding Author Professor, Department of Wood and Paper Science and Technology, Karaj Branch, Islamic Azad University, Karaj, Iran, Email: latibari.aj@gmail.com
3- Professor, Department of Wood and Paper Science and Technology, Karaj Branch, Islamic Azad University, Karaj, Iran

Received: Sep., 2016 Accepted: Dec., 2016

Abstract

The influence of Multi Walled Carbon Nano Tubes (Non-functionalized and functionalized) on mechanical properties of polypropylene – old corrugated container (OCC) fibers composite is investigated. The composites samples were prepared using 20% OCC fibers, 80% polypropylene and without or 3% MAPP. Acidic oxidation method was used to functionalize the MWCNTs. Three levels of either treated or non- treated multi walled carbon nano tubes (0% - 0.5% - 1%) were added. Mechanical properties were measured as defined in ASTM testing methods. The results indicated that at higher dosage of MWCNTs, the tensile strength properties of the composite were improved but the influence of the functionalizing was not statistiaclly significant. The bending strength and elasticity as well as the izod impact strength were increased as the higher amount of nanotubes was added to the composite. Scanning Electron Micrographs showed the development of bonding between the composite components. Composites without coupling agent showed lower bonding strength between polypropylene and fiber as indicated by fiber pull out. However, in the composites containing coupling agent, the fiber fracture was dominant.

Keywords: Composite, MWCNT, functionalization, SEM, mechanical properties.