

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

روزبه آیینزاد^۱، احمد جهان‌لنبری^{۲*} و مهران روح‌نیا^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 پذیرش: آذر ۱۳۹۵

تاریخ دریافت: مهر ۱۳۹۵

چکیده

در این پژوهش اثر نانولوله‌های کربنی چند دیواره (فراوری شده 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٪ مالتیک‌انیدرید پلی‌پروپیلن مورد بررسی قرار گرفته است. برای فراوری کردن نانولوله‌های کربنی از روش اکسیداسیون اسیدی (مخلوط اسیدسولفوریک و اسید نیتریک) استفاده شد. نانولوله کربنی چند دیواره فراوری نشده و فراوری شده در ۳ سطح ۰، ۵/۰ و ۱ درصد مورد استفاده قرار گرفته است. ویژگی‌های مکانیکی چندسازه بر اساس دستورالعمل‌های ASTM اندازه‌گیری شده است. نتایج نشان داد که با افزایش میزان نانولوله‌های کربنی ویژگی‌های کششی افزایش یافته 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 مدول الاستیسیته خمشی و مقاومت خمشی زیاد شده است. مقاومت به ضربه نمونه‌ها نشان می‌دهد که در اثر زیاد شدن 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 خارج شده‌اند. ولی در نمونه‌های حاوی جفت‌کننده، گسیختگی در الیاف مشاهده می‌گردد.

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

مقدمه

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 حل نشده و باهم ممزوج نمی‌شوند. چندسازه از دو قسمت اصلی ماتریس و تقویت‌کننده تشکیل شده است. ماتریس با احاطه کردن تقویت‌کننده آن را در محل نسبی خودش نگه می‌دارد و تقویت‌کننده موجب

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. به عبارت دیگر چندسازه‌ها به دسته‌ای از مواد

فراوری شده را در ماتریس پلیمری نسبت به نانولوله‌های فراوری نشده تأیید می‌کند. همچنین چندسازه‌های حاوی نانولوله کربنی فراوری شده بیشترین میزان مدول الاستیسیته 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 به وسیله نیتریک اسید توسط طیف‌سنجی مادون قرمز 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 قرار دادند. نتایج طیف‌سنجی مادون قرمز 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 ایجاد شده است. همچنین نتایج نشان می‌دهد که دانسیته نانولوله‌های کربنی چند دیواره پس از فراوری افزایش قابل توجهی داشته است.

Bikiaris و همکاران (۲۰۰۸) در پژوهشی اثر نانولوله کربنی چند دیواره فراوری شده را بر روی ویژگی‌های مکانیکی، نفوذپذیری، حرارتی و پایداری اکسیداسیون حرارتی نانو چندسازه پلی‌پروپیلن مورد بررسی قرار دادند. 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 فراوری شده با اسید را بررسی کردند.

بهبود خواص مکانیکی ساختار می‌گردد. به‌طور کلی تقویت‌کننده می‌تواند به صورت فیبرهای کوتاه و یا بلند و پیوسته باشد. قدیمی‌ترین مثال از چندسازه‌ها مربوط به افزودن کاه به گل برای تقویت گل مورد استفاده 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 انجام شده است.

Mahajan و همکاران (۲۰۱۳) در پژوهشی تجزیه گرمایی نانولوله‌های کربنی چند دیواره در محیط‌های مختلف را مورد بررسی 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 پلی‌آمید آروماتیک چند شاخه را بر روی بهبود خواص مکانیکی چندسازه پلی‌متیل متاکریلات بررسی کردند. طیف‌سنجی مادون قرمز با انتقال فوریه حضور گروه‌های آمید را ثابت کرده است. مقایسه چندسازه حاوی نانولوله کربنی و چندسازه حاوی نانولوله کربنی فراوری شده توسط میکروسکوپ الکترونی عبوری، پخشندگی بهتر نانولوله‌های

معنی داری در مدول الاستیسیته مشاهده نشد اما در مقادیر زیادتر (۲/۳۲۵٪) مدول الاستیسیته ۲/۴ برابر نمونه شاهد شد.

Shimamura و همکاران (۲۰۱۳) خواص مکانیکی چندسازه اپوکسی- نانولوله کربنی تولیدشده به روش پالترژن را مورد بررسی قرار دادند. نتایج آنان نشان داد که با افزایش میزان نانولوله‌های کربنی مدول یانگ، مقاومت کششی و دانسیته افزایش قابل توجهی داشت، باین حال 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) به میزان ۲۰٪ وزن چندسازه به‌عنوان تقویت‌کننده در چندسازه استفاده شده است.

پلی پروپیلن: پلی پروپیلن از نوع PI0800، با شاخص جریان مذاب (MFI) ۷ تا ۱۰ گرم بر ۱۰ دقیقه بر اساس استاندارد ASTM-D1238 و دمای ذوب ۱۶۵-۱۷۵ درجه سانتی‌گراد تولید صنایع پتروشیمی خلیج فارس (مجتمع پتروشیمی بندر امام) انتخاب شده 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 تشکیل شده‌اند. در این بررسی نانولوله‌های کربن چند دیواره فراوری شده و فراوری نشده با طول ۱۰ میکرومتر و قطر ۱۰ تا ۳۰ نانومتر مورد استفاده قرار گرفته‌اند. نانولوله‌ها از پژوهشگاه صنعت نفت ایران تهیه شده‌اند.

نتایج بیانگر آن است که مقاومت به کشش در تیمار حاوی پلی اتیلن ترفتالات و تیمار حاوی پلی اتیلن ترفتالات و نانولوله کربنی فراوری نشده تفاوت آشکاری نداشته است. در حالی که تیمارهای حاوی نانولوله کربنی فراوری شده 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 مورد بررسی قرار دادند. نتایج آنان نشان داد که با افزایش میزان نانولوله کربنی و فیبرهای کربن مدول الاستیسیته 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. به‌طور کلی در این تحقیق با توجه به مدول الاستیسیته نانولوله کربن، فیبر کربن و اپوکسی (به ترتیب 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٪ مدول الاستیسیته چندسازه افزایش پیدا می‌کند.

Rodrigue (۲۰۱۳) تأثیر جهت‌گیری و مقدار نانولوله‌های کربنی را بر روی خواص مکانیکی چندسازه با پایه پلی پروپیلنی مورد بررسی قرار دادند. نتایج او نشان داد که نانولوله‌های با زاویه صفر درجه به خوبی 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

ساخت نمونه

ساخت چندسازه‌ها به روش تزریق قالبی انجام شده است. ابتدا با استفاده از یک دستگاه اکسترودر تک ماردونه^۳ (Collin) با دمای مخلوط سازی ۱۸۰ درجه سلسیوس و سرعت مخلوط سازی ۶۰ دور در دقیقه و زمان مخلوط سازی ۱۴ دقیقه مواد به طور کامل مخلوط شده‌اند. مواد خارج شده 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) انجام شده است. شرایط تزریق مواد به داخل قالب‌ها شامل سرعت بارگیری ۲۵ دور در دقیقه و دمای ۱۸۰ درجه سلسیوس انتخاب شده 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^۴)

به منظور شناخت مرفولوژی سطح شکست نمونه‌ها، تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی از مقاطع شکست تهیه شده است.

جفت کننده شیمیایی: جفت کننده شیمیایی مالتیک انیدرید پلی پروپیلن (MAPP)، با مارک تجاری Sigma-Aldrich و مشخصات $M_w=9100(GPC)$, $M_n=3900(GPC)$ گرانروی بروکفیلد در ۱۹۰ درجه سانتی‌گراد، ۴ پی‌اِز، نقطه ذوب ۱۵۶ درجه سانتی‌گراد و دانسیته سیال ۰/۹۳۴ گرم بر سانتی‌متر مکعب در ۲ سطح ۰٪ و ۳٪ مورد استفاده قرار گرفت.

فعال سازی نانولوله‌های کربنی

نانولوله‌های کربنی توسط اکسیداسیون اسیدی و افزودن گروه‌های عاملی فعال شده‌اند. 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 به شرح زیر فعال سازی 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 سی سی نیتریک اسید ۶۳٪ (Merck) و ۳۰۰ سی سی سولفوریک اسید ۹۸٪ (Merck) قرار داده سپس با نصب مبرد روی بالن، محلول در دمای ۱۵۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۶۰ دقیقه حرارت داده شد. پس از آن محلول تا دمای محیط خنک شده و در مرحله بعد عملیات فیلتراسیون با استفاده از صافی کروزه^۲ 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 نانولوله کربنی را از روی صافی جمع کرده و در آون با دمای ۹۰ درجه سانتی‌گراد می‌گذاریم تا نانولوله‌های کربنی خشک شده و بتوان آنها را از روی سطح ظرف جمع‌آوری کرد.

3- Single Screw Extruder

4- Scanning Electron Microscope

1- Maleic Anhydride PolyPropylene

2- Crucible

تجزیه و تحلیل آماری

پس از انجام آزمایش‌ها و جمع‌آوری داده‌ها، تجزیه و تحلیل نتایج، بر اساس آزمون فاکتوریل در قالب طرح کامل تصادفی انجام شده و برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون چند دامنه‌ای دانکن استفاده شده است.

نتایج

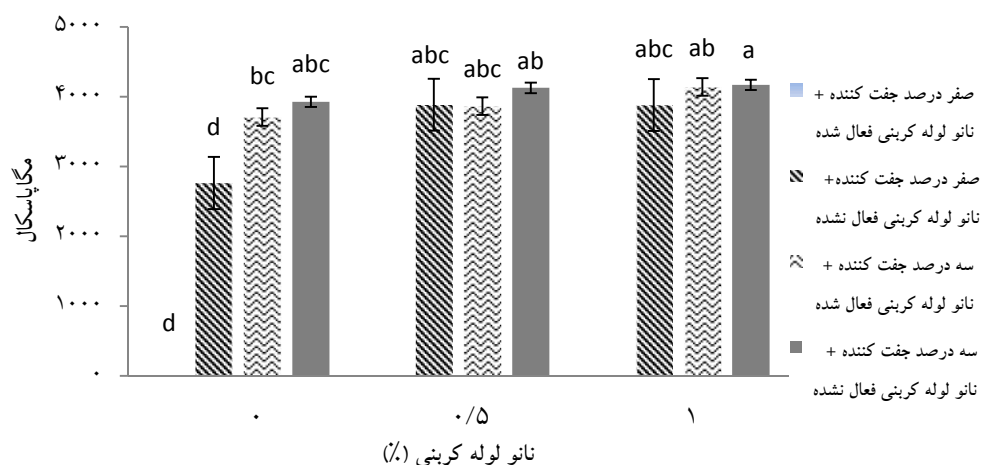
در این پژوهش تأثیر فراوری نانولوله کربنی چند دیواره و جفت‌کننده بر ویژگی‌های مکانیکی چندسازه پلی‌پروپیلن / الیاف سلولزی مورد ارزیابی قرار گرفته است. نانولوله‌های کربنی چند دیواره (فراوری شده و فراوری نشده) در سه سطح ۰ - ۰/۵ و ۱٪ و همچنین جفت‌کننده مالئیک‌انیدرید پلی‌پروپیلن در دو سطح ۰ و ۳٪ مورد استفاده قرار گرفتند. خواص مکانیکی چندسازه‌ها شامل مدول الاستیسیته کششی، مقاومت به کشش، مدول الاستیسیته خمشی، مقاومت به

خمش و مقاومت به ضربه فاق‌دار اندازه‌گیری شده است. نتایج اندازه‌گیری‌ها در شکل‌های ۱ تا ۵ و تجزیه و تحلیل آماری نتایج در جدول ۱ خلاصه شده است. گروه‌بندی میانگین‌ها در شکل‌های مربوطه با استفاده از حروف نشان داده شده است.

تأثیر عوامل مورد بررسی بر مدول الاستیسیته کششی نمونه‌های چندسازه نشان می‌دهد که در اثر زیاد شدن مقدار نانولوله کربنی چند دیواره و مقدار جفت‌کننده این ویژگی افزایش یافته و فراوری نانولوله کربنی تأثیری بر آن ندارد. تأثیر عوامل مورد بررسی در سطح آماری ۹۹٪ معنی‌دار شده و میانگین‌ها در ۵ گروه قرار گرفته‌اند. نمونه‌های حاوی ۳٪ جفت‌کننده و ۱٪ نانولوله کربنی فراوری شده زیاده‌ترین میزان مدول الاستیسیته را داشته است. البته کمترین میزان مدول الاستیسیته نیز به نمونه بدون جفت‌کننده و نانولوله کربنی فراوری شده اختصاص یافت (شکل ۱).

جدول ۱- تجزیه و تحلیل تأثیر عوامل مورد بررسی بر ویژگی‌های مقاومتی نانو چندسازه پلی‌پروپیلن - الیاف سلولزی (مقدار F و سطح معنی‌داری)

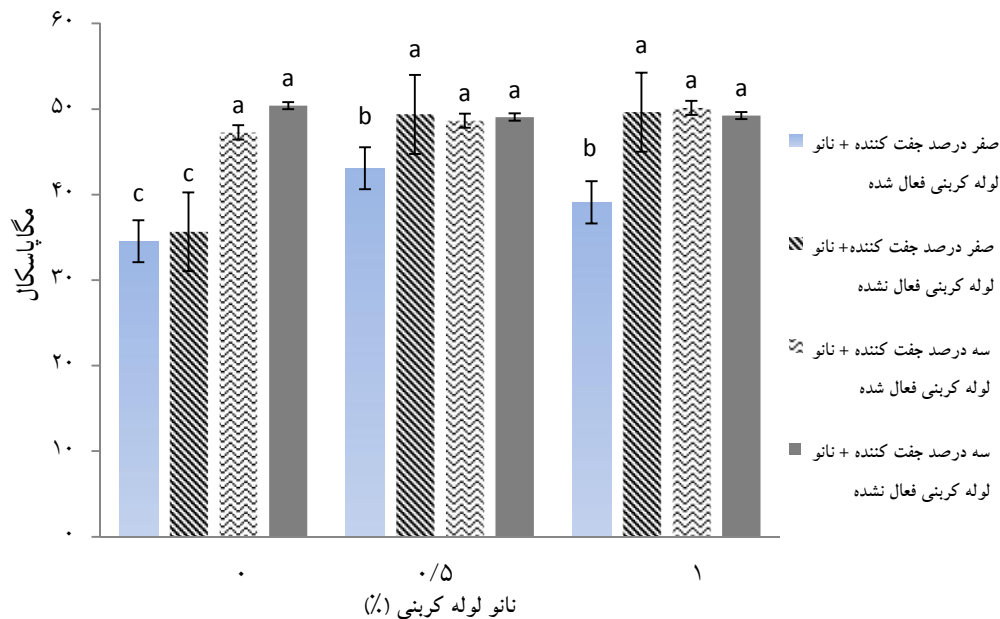
آزمایش	مقاومت به کشش	مدول الاستیسیته کششی	مقاومت به خمش	مدول الاستیسیته خمشی	مقاومت به ضربه فاق‌دار
مقدار F و سطح معنی‌داری	۲۵/۶۲**	۱۴**	۶۳/۳۱**	۲۵/۹**	۸/۲۱**



شکل ۱- تأثیر سه عامل مقدار نانولوله کربنی، جفت‌کننده و فراوری نانولوله کربنی بر مقدار مدول الاستیسیته کششی چندسازه

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 قرار گرفته‌اند (شکل ۲).

تأثیر عوامل موردبررسی بر مقاومت به کشش نمونه‌ها نیز در سطح آماری ۹۹٪ معنی‌دار شده (جدول ۱) و میانگین‌ها در سه گروه قرار گرفته‌اند (شکل ۲). زیاده‌ترین میزان مقاومت به کشش مربوط به نمونه حاوی ۳٪



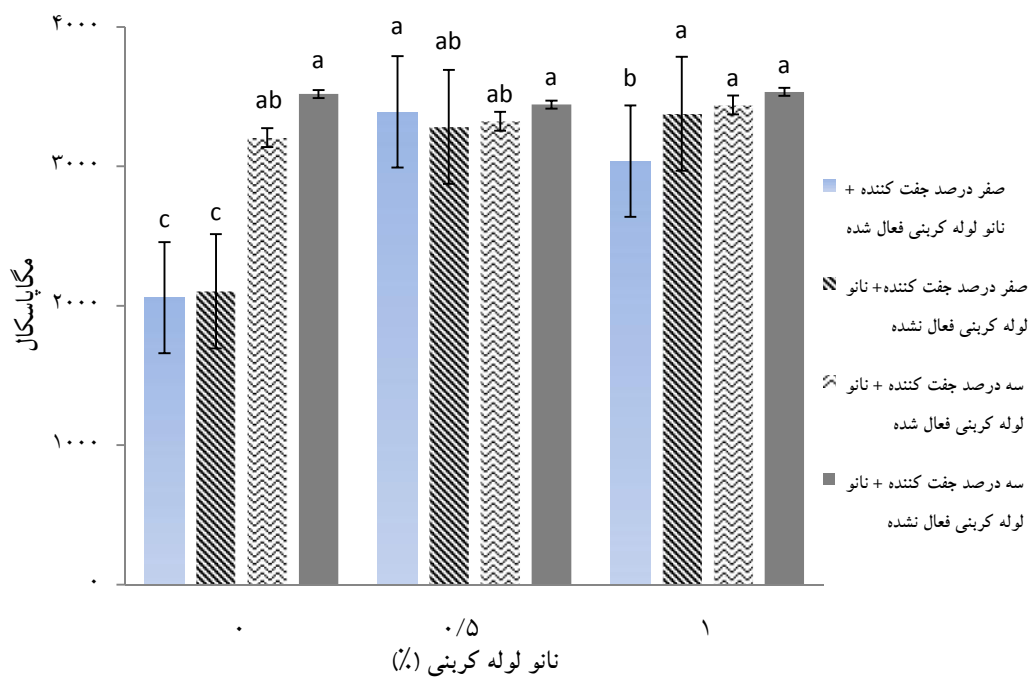
شکل ۲- تأثیر سه عامل مقدار نانولوله کربنی، جفت‌کننده و فراوری نانولوله کربنی بر مقدار مقاومت به کشش چندسازه

نشده بوده و کمترین میزان مقاومت به کشش (۴۶/۹۹ مگاپاسکال)، مربوط به تیمار بدون جفت‌کننده و نانولوله کربنی فراوری شده بوده است. میانگین‌ها در چهار گروه قرار گرفته‌اند (شکل ۴).

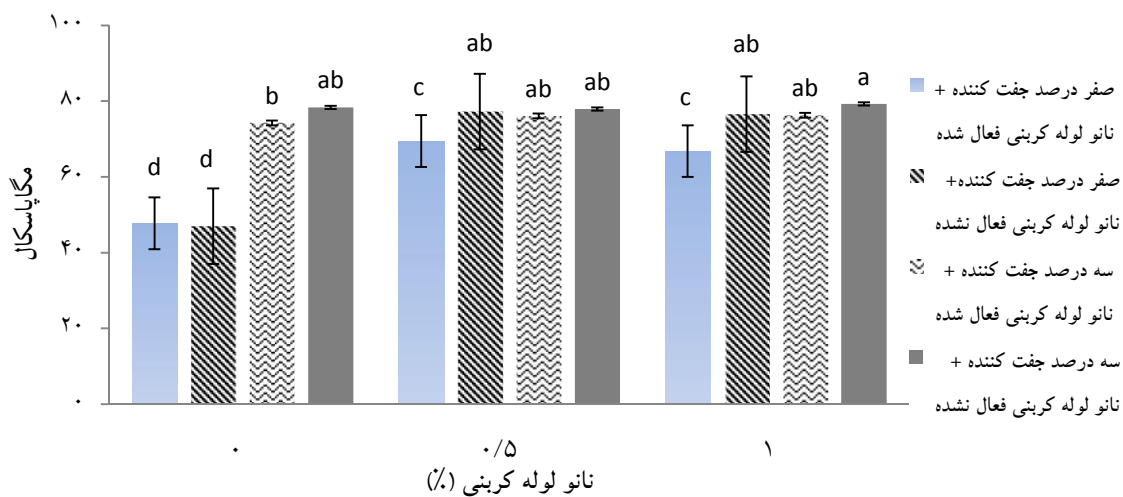
میانگین مقاومت به ضربه فاق‌دار نمونه‌های نانو چندسازه حاوی نانولوله کربنی چند دیواره فراوری شده و فراوری نشده در شکل ۵ نشان داده شده است. تأثیر عوامل موردبررسی بر این ویژگی در سطح آماری ۹۹٪ معنی‌دار شده است. بیشترین مقدار مقاومت به ضربه فاق‌دار (۰/۷۲ ژول بر متر) مربوط به نمونه حاوی ۰/۵٪ نانولوله کربنی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

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

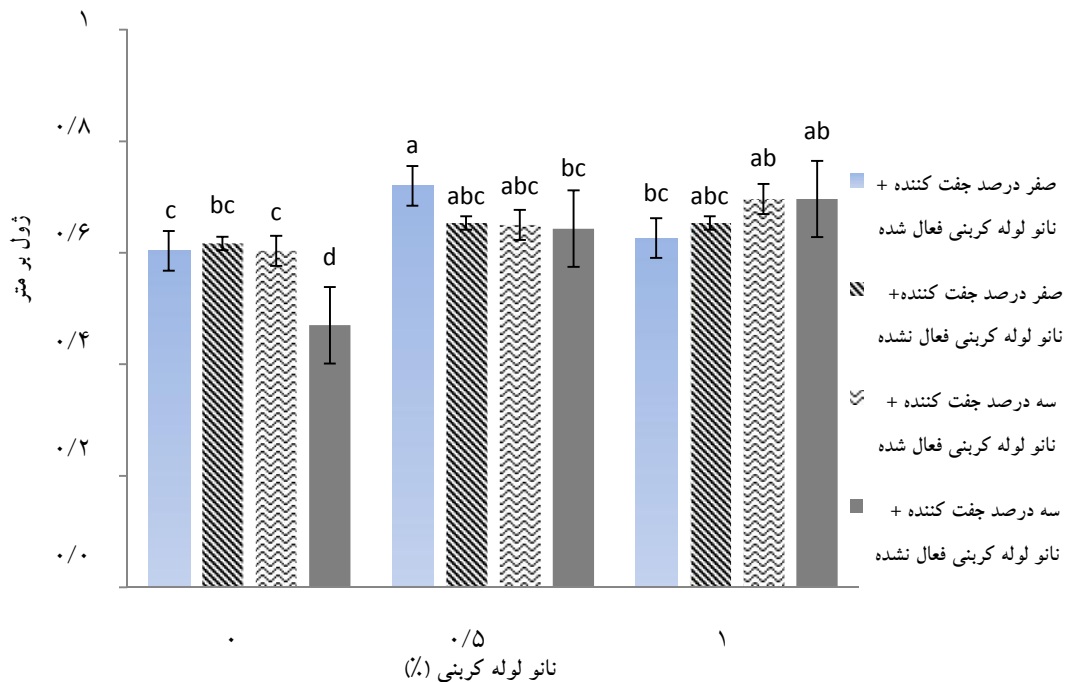
تأثیر عوامل موردبررسی بر مقاومت خمشی نمونه‌های نانو چندسازه نیز در سطح آماری ۹۹٪ معنی‌دار شده است. بیشترین مقاومت به کشش (۷۹/۲۷ مگاپاسکال) مربوط به نمونه حاوی ۳٪ جفت‌کننده و ۱٪ نانولوله کربنی فراوری



شکل ۳- تأثیر سه عامل مقدار نانولوله کربنی، جفت کننده و فراوری نانولوله کربنی بر مقدار مدول الاستیسیته خمشی چندسازه



شکل ۴- تأثیر سه عامل مقدار نانولوله کربنی، جفت کننده و فراوری نانولوله کربنی بر مقدار مقاومت خمشی چندسازه



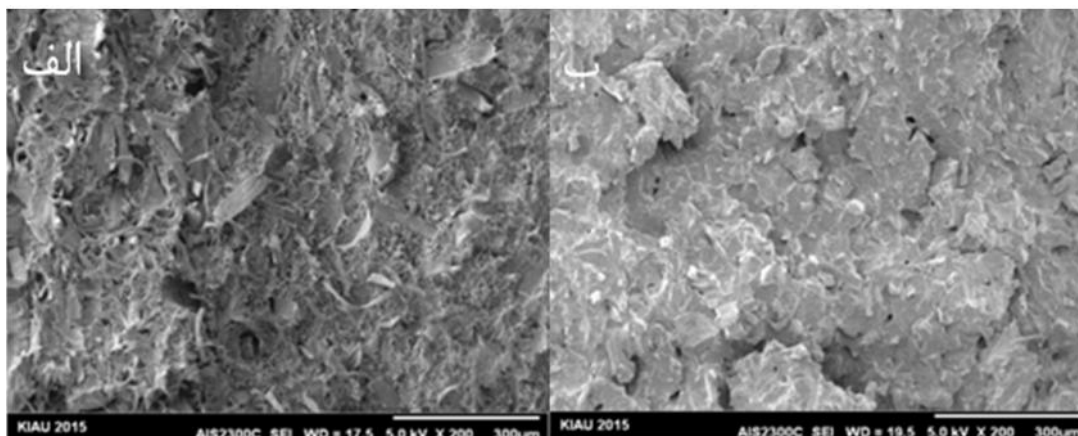
شکل ۵- تأثیر سه عامل مقدار نانولوله کربنی، جفت کننده و فراوری نانولوله کربنی بر مقدار مقاومت به ضربه فاق دار چندسازه

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 خارج شده که علت آن ضعیف بودن پیوندها در بین ماتریس پلیمری و فاز تقویت‌کننده است. درحالی‌که نمونه حاوی جفت‌کننده و نانولوله کربنی فراوری شده اتصال بهتر شده و به همراه آن مقاومت مکانیکی بهتری ایجاد شده 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 فراوری شده باعث پخشندگی بهتر مواد با یکدیگر بوده است (May-Pat *et al.*, 2012).

بحث

در این بررسی تأثیر فراوری نانولوله‌های کربنی چندسازه و همچنین مقدار جفت‌کننده بر ویژگی‌های نانو چندسازه ارزیابی شده است. در اثر زیادتر شدن مقدار نانولوله کربنی در چندسازه‌ها ویژگی‌های مقاومتی بهبود یافته 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 و Ahmed; Osorio; ۲۰۰۸ و همکاران، ۲۰۱۳). افزودن جفت‌کننده نیز به بهبود ویژگی‌های مقاومتی انجامیده است که دور از انتظار نمی‌باشد.



شکل ۶-الف) نمونه بدون نانولوله کربنی و جفت کننده، ب) نمونه حاوی ۳٪ جفت کننده و ۱٪ نانولوله کربنی فراوری شده

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 – Functionalization 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 nanotubes. *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.

منابع مورد استفاده

- 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.
- Madhwaran, S.R., Kwon, J.K., Cho, J.W. Functionalized multi-walled Carbon Nanotubes with Hyperbranched 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., Cauch-Rodriguez, J.V., 2011. Mechanical properties of PET

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

R. Abidnejad¹, A. Jahan Latibari^{2*} and M. Roohnia³

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 statistically 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.