نشریه علمی تحقیقات علوم چوب و کاغذ ایران
جلد ۳۵ شماره ۴، صفحه ۴۰۶-۳۹۲، (۱۳۹۹)

شناسه دیجیتال (DOI): 10.22092/IJWPR.2020.342818.1609
شناسه دیجیتال (DOR): 98.1000/1735-0913.1399.35.392.73.4.1578.1610

تولید نانو کامپوزیت‌های چوب پلاستیک با استفاده از پسماندهای کشاورزی و ضایعات پلیمری شهری

امیر نوربخش[1*] ، ابوالفضل کارگرفرد[2] ، رضا حاجی‌حسنی[3] سامان قهری[3] و فرداد گلبابائی[4]

۱*_ نویسنده مسئول، 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

۲- دانشیار، بخش تحقیقات علوم چوب و فراورده‌های آن، مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

۳- دکترای صنایع چوب و کاغذ، بخش تحقیقات علوم چوب و فراورده‌های آن، مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

۴- کارشناس ارشد، بخش تحقیقات علوم چوب و فراورده‌های آن، مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

تاریخ دریافت: خرداد ۱۳۹۹ تاریخ پذیرش: آبان ۱۳۹۹

چکیده

در این پژوهش خواص مقاومتی نانو کامپوزیت چوب پلاستیک تولید شده با استفاده از ۵ سطح پسماندهای سلولزی (باگاس، ساقه ذرت، ساقه برنج، ساقه آفتاب‌گردان و ساقه کلزا)، سه سطح مواد نانویی (نانولوله‌های کربنی، نانو سیلیس، نانو رس) و ضایعات پلیمری شهری (پلی‌پروپیلن PP و پلی‌اتیلن سنگین HDPE و غیره) بررسی شد. به‌منظور اتصال شیمیایی کامپوزیت‌های الیاف چوب/پلیمر از مواد شیمیایی و تقویت‌کننده (عوامل جفت‌کننده) به دلیل خواص آب‌دوستی الیاف سلولزی و آب‌گریزی پلاستیک‌ها استفاده شده است. برای بررسی ویژگی‌های مکانیکی و اتصال کامپوزیت‌ها از دستگاه‌های اکسترودر و پرس گرم استفاده شد. نتایج نشان داده که استفاده از ضایعات پلیمری سنگین HDPE سبب افزایش مقاومت کششی، مدول خمشی و مقاومت به ضربه نسبت به ضایعات پلی‌پروپیلن شده است. در مورد استفاده از ضایعات و پسماندهای کشاورزی در ساخت کامپوزیت‌های چوب -پلاستیک، به‌طورکلی نتایج نشان داده است که افزودن ضایعات لیفی کشاورزی در چندسازه چوب پلاستیک به‌طور مشخص سبب بهبود خواص خمشی و کششی شده است و در بین آنها ساقه باگاس دارای برتری محسوسی نسبت به مواد لیگنوسلولزی دیگر است. استفاده از ضایعات پلیمری و پسماندهای کشاورزی با استفاده از نانو سیلیس بهترین نتیجه مقاومت‌ها را نشان داده است. به‌طورکلی نتایج نشان داده است که استفاده از ضایعات لیفی کشاورزی به‌عنوان تقویت‌کننده در چندسازه‌های چوب پلاستیک دارای خواص مکانیکی مورد انتظار می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: نانو، باگاس، ذرت، گندم، مقاومت خمشی، مقاومت کششی.

مقدمه

در تولید کامپوزیت‌های هیبریدی الیاف چوب/پلیمر از عوامل شیمیایی مختلفی استفاده می‌گردد که می‌تواند سبب افزایش اتصالات شیمیایی به وجود آمده در شبکه کامپوزیت ها گردد. افزایش مقاومت‌ها از اهداف بسیار مهم در سایر نقاط دنیا می‌باشد. در سال‌های اخیر علاقه‌مندی برای الیاف تقویت‌شده با گرمانرم‌ها بسیار بیشتر شده است. استفاده از الیاف مصنوعی همانند الیاف نانوکربن، نانو سیلیس و نانو رس با خواص منحصربه‌فرد خود در جهت تولید محصولات با کیفیت بالاتر مورد توجه محققان بوده است. البته افزایش علاقه‌مندی در جهت ارتقاء مواد اولیه بازیافتی در تولید کامپوزیت‌های لیگنوسلولزی رو به فزونی گذاشته است.

افزودنی‌های استفاده شده در ابعاد نانومتر (nm) در ماتریس باعث ایجاد سطح مشترک قابل‌توجهی می‌شوند که دستیابی به این سطح مشترک با افزودنی‌های با ابعاد بزرگ‌تر (میکرومتر)، با به‌کاربردن درصد بالایی از این افزودنی‌ها میسر می‌شود. افزایش مقاومت حرارتی، مکانیکی و نفوذپذیری با تشکیل این سطح فعال به وجود آمده قابل توجیه است.

دو خصوصیت ویژگی خاص سیلیکات‌های لایه‌ای، هنگام بررسی نانوچندسازه‌ها مهم هستند. نخست توانایی ذرات سیلیکات برای پخش شدن در ماتریس پلیمری و تبدیل شدن به لایه‌های مجزا از هم و دیگری قابلیت تبدیل سطح لایه‌ها به سطوح مناسب و سازگار با ماتریس پلیمری به‌وسیله واکنش‌های تبدیل یونی می‌باشد. این دو ویژگی تواماً حائز اهمیت می‌باشند، زیرا میزان پخش شدن لایه‌ها در ماتریس پلیمری به میزان بار یونی بین لایه‌ها بستگی دارد.

استفاده از ضایعات پلیمری در دنیا موضوعی ارزشمند است که به‌دلایل متعدد ازجمله ارزانی، بازیافت‌پذیری، ایجاد ارزش افزوده و کاهش انرژی مورد توجه محققان قرار گرفته است. انواع پلیمرهای ضایعاتی شامل پلی‌پروپیلن (PP) و پلی‌اتیلن سنگین (HDPE) دارای حجم تولید بسیار بالایی هستند. علاوه‌برآن پلی‌اتیلن تری‌فتالات (PET)، پلی‌استایرن (PS)و پلی‌اتیلن سبک (LDPE) نیز از حجم قابل‌توجهی برخوردار می‌باشند. انواع گرمانرم‌ها که به شکل‌های مختلف تولید می‌شوند بعد از مصرف می‌توانند دوباره بازیافت شوند؛ بنابراین با استفاده از سیستم‌های جداسازی و تفکیک می توانند به‌عنوان ماده اولیه ضایعاتی دوباره در ساخت محصولات پلیمری استفاده شوند. در این راستا تحقیقات گسترده‌ای در دنیا و ایران انجام شده است.

کاربردهای وسیعی مانند صنایع خودروسازی، ساختمانی، دریایی، الکترونیکی، در و پنجره سازی، پروفیل، کف سازی، هوافضا، موارد نرده‌ای و ریلی و ... می‌باشند. بازار صنایع چوب پلاستیک در حال حاضر فعالیت‌های اقتصادی بیش از چندین میلیون دلاری را به خود اختصاص داده است. بازار وسیع استفاده از الیاف طبیعی در صنایع چندسازه در جهت جایگزینی الیاف شیشه و سایر مواد مصنوعی است. از سال ۱۹۹۶ تا سال ۲۰۰۳ استفاده از الیاف طبیعی در چندسازه‌ها در صنایع خودروسازی آلمان از ۴۰۰۰ تن به ۱۸۰۰۰ تن در سال افزایش داشته است. در مطالعه‌ای که در آمریکای شمالی انجام شده است، برآورد شده که قابلیت بازار ۴۵۰۰۰ هزار تنی برای الیاف طبیعی مانند جوت، شاهدانه، فلاکس و سیزال انتظار رشدی ۱۵ تا ۲۰ درصدی را در هر سال داشته است. بر اساس گزارش سازمان خواربار جهانی (FAO) به‌طور متوسط ۵ تا ۱۰ کیلوگرم الیاف طبیعی در آینده‌ای نه‌چندان دور در صنایع خودروسازی مورد نظر استفاده خواهد شد.

مطابق با بررسی‌های Clasive از سال ۲۰۰۷ تا سال ۲۰۱۳ نزدیک به ۶۵ میلیون دلار تقاضا برای مصارف کفی (Decking)چندسازه‌های چوب پلاستیک تنها در آمریکای شمالی وجود داشته است که سهم الیاف طبیعی و چوبی چیزی در حدود ۶۶ درصد بوده است.

جدول الف- درصد مشارکت چوب و پلاستیک در طی سال‌های ۱۹۹۲-۲۰۱۱

سال	بازار (میلیون دلار)	درصد مشارکت مواد		
		چوب	پلاستیک	چندسازه چوب پلاستیک
۱۹۹۲	۲/۳	۹۷	۱	۲
۲۰۰۰	۳/۴	۹۱	۲	۷
۲۰۰۵	۵/۱	۷۷	۴	۱۹
۲۰۰۶	۵/۵	۷۳	۵	۲۲
۲۰۱۱	۶/۵	۶۶	۴	۳۰

مطابق با بررسی‌های به‌عمل‌آمده در اتحادیه اروپا در سال ۲۰۰۰، ۸۵ درصد وزنی وسایل نقلیه مجبور به بازیافت تا سال ۲۰۰۵ شده بودند. این میزان می‌باید تا سال ۲۰۱۸ به حدود ۹۵ درصد برسد (Hobi, 2003; Peijs, 2003).

Lu و همکاران (۲۰۰۰) در بررسی که روی اثر جفت کننده‌های شیمیایی در کامپوزیت‌های الیاف چوب/ پلیمر انجام دادند، روش‌های مختلف پوشش‌دار کردن کامپوزیت‌ها را مورد توجه قراردادند. آنان سه روش عمده را در تولید کامپوزیت‌های الیاف چوب/پلیمر مطرح کردند. در حالت اول عوامل جفت‌کننده به‌طور مستقیم روی الیاف چوب و پلیمر در زمان مخلوط‌سازی افزوده می‌شوند. این روش تک‌مرحله‌ای بوده و ساده و ارزان می‌باشد. در حالت دوم یا روش دومرحله‌ای پوشش‌دار کردن قبل از مخلوط کردن انجام می‌شود که عوامل جفت‌کننده روی سطوح الیاف یا پلیمر قبل از مخلوط شدن اضافه می‌شوند. در حالت سوم قسمتی از پلیمر و الیاف سلولزی با عوامل جفت‌کننده تیمار شده، سپس با الیاف چوب غیرتیمار شده مخلوط می‌گردند. آنان بیان کردند که در سه روش ساخت، مخلوط کردن مناسب بوده ولی در حالت دوم در کامپوزیت‌های به روش ریزش کیک (air – forming) بهتر است. آنان همچنین بیان کردند که در هر سه روش مخلوط‌سازی، شرایط مخلوط کردن مثل درجه حرارت، زمان و سرعت چرخش به‌طور مستقیم روی کیفیت پوشش‌دار کردن و عوامل جفت‌کننده مؤثر می‌باشد.

مواد سلولزی بجامانده از محصولات کشاورزی مثل پوسته (کلش) برنج، ساقه آفتابگردان، پوسته بذر آفتابگردان، باگاس و ... است. این مواد اولیه الیافی تقریباً ۱۱۴۵ میلیون تن در سال ۱۹۹۱ بوده است که از این میان ۹۰ میلیون تن شامل ساقه‌های ذرت، سورگوم، کتان و ... بوده، ۷۵ میلیون تن ساقه باگاس، ۱۵۰ میلیون تن ضایعات مغزی (Core) ، bust، لینترها و ... بوده است (Rowell, 1998).

Yehia و همکاران (۲۰۰۲) میزان جذب آب کامپوزیت‌های تقویت شده با الیاف سلولزی چوب کاج در گرمانرم پلی‌اتیلن را مورد بررسی قرار دادند. در این بررسی آنان مواد اولیه را در یک مخلوط‌کن k با سرعت ۳۲۰۰ دور در دقیقه مخلوط کرده و بعد در دمای بین ۱۴۰ تا ۱۷۰ درجه سلسیوس تخلیه کردند.

Maji و Deka (۲۰۱۰) با استفاده از مخلوط زایلن و تتراهیدروفوران به‌عنوان حلال و نوعی سازگارکننده اقدام به مخلوط‌سازی پلی‌اتیلن سنگین، پلی‌اتیلن سبک، پلی‌پروپیلن و پلی وینیل کلراید کردند. مطالعه تفرق اشعه ایکس چندسازه چوب پلیمر تیمارشده با ۱ و ۳ phr نانورس ساختار لایه‌لایه‌ای بیشتری در مقایسه با چندسازه چوب پلیمر تیمارشده با ۵ phr نانورس نشان داد. مطالعات FTIR میان کنش چوب و سازگارکننده را تأیید می‌کند. با افزودن نانورس به چوب پلیمر ثبات حرارتی بهبود می‌یابد. چوب پلیمرهای تیمارشده با ۳ phr رس خواص مکانیکی بالاتری را نشان می‌دهند.

Ghasemi و Kord (۲۰۰۹) رفتار جذب آب طولانی مدت نانوچندسازه هیبریدی پلی‌پروپیلن، آرد چوب و رس را مورد ارزیابی قرار دادند. در این تحقیق غلظت‌های متفاوتی از نانورس و سازگارکننده در ساخت نانوچندسازه هیبریدی مورد استفاده قرار گرفت. ویژگی جذب آب نمونه‌ها تا ۳۰۰۰ ساعت مورد بررسی قرار گرفت. ریخت‌شناسی نانورس با استفاده از تفرق اشعه ایکس و میکروسکپ الکترونی عبوری بررسی گردید و اثر ریخت‌شناسی بر جذب آب بحث شد. به دلیل مقدار سازگارکننده ناکافی، ریخت‌شناسی لایه‌لایه‌ای نانورس به دست نیامد اما ساختار بین لایه‌ای تشکیل گردید. به دلیل کلوخه شدن ذرات نانورس در مقدار مساوی از سازگارکننده، نظم ساختار بین لایه‌ای نمونه‌های دارای ۳ phc نانورس بیشتر از نمونه‌های دارای ۶ phc می‌باشد. اثر سازگارکننده در ارتباط با افزایش ثبات ابعاد چندسازه و خواص مکانیکی مثبت بوده است. احتمالاً بیشینه مدول کششی مربوط به مصرف ۳ phc نانورس و ۴ phc سازگارکننده است.

مشاهدات آنان نشان داده بود که میزان جذب اولیه آب و نقطه اشباع نمونه‌ها به سطح حجم نمونه‌های آزمونی بستگی داشته است. همچنین میزان جذب آب را وابسته به درصد الیاف و ژئومتری الیاف دانسته‌اند و اثر عوامل جفت‌کننده را

در کاهش میزان جذب آب بسیار مؤثر می‌دانند.

Shi و همکاران (۲۰۰۰) حداکثر میزان جذب آب را در کامپوزیت‌های الیاف چوب/ پلیمر برآورد کردند. آنان در این بررسی از الیاف پهن‌برگ شامل مقدار ۷۵ درصد چوب صنوبر لرزان و مقدار ۲۵ درصد از سایر گونه‌ها استفاده نمودند. همچنین آنان با استفاده از ماده پلیمری کُرکی شکل و اندازه ۳۵ مش (۰/۵ میلی‌متر) و با کمک رزین دی‌فنیل‌متان دی ایزو سیانات (PMDI) به‌عنوان اتصال‌دهنده استفاده کردند. نتایج این بررسی همچنین نشان داده است که درصد پلیمر و دانسیته تخته در میزان جذب آب کامپوزیت مؤثر می‌باشد. رزین پلیمری PMDI در فرایند خشک برای اتصال کرک‌های پلیمری به الیاف چوب استفاده شده بود و واکشیدگی ضخامت غیرقابل برگشت دارای رابطه‌ای با درصد کرک پلیمری و رابطه خطی با دانسیته خشک تخته داشته است. نتایج مشخص کرده است که حداکثر میزان جذب آب در کامپوزیت‌های مورد نظر با درصد کرک پلیمری کاهش و با دانسیته تخته افزایش یافته است.

Rowell و همکاران (۲۰۰۲) در تحقیقی که بر روی اثر رطوبت بر کامپوزیت‌های الیاف چوب/ پلی‌پروپیلن انجام دادند، اعلام کردند که حضور انیدریدمالئیک پلی‌پروپیلنی جذب رطوبت را در شرایط رطوبت نسبی بالا در مقایسه با همان نمونه‌ها در شرایط معمولی کاهش داده است. آنان از الیاف صنوبر به مقدار ۰ تا ۶۰ درصد و انیدریدمالئیک پلی‌پروپیلنی و بدون سازگارکننده اقدام به تولید کامپوزیت کردند. در تمام شرایط افزایش جذب آب بستگی به افزایش میزان درصد الیاف داشته است. وجود انیدریدمالئیک پلی‌پروپیلنی در تمام کامپوزیت‌های مورد بحث افزایش جذب رطوبت را کاهش داده بود. آنان علت این پدیده را به افزایش سازگاری در اثر تماس بیشتر میان الیاف آب‌دوست و پلاستیک آب‌گریز می‌دانند.

نانولوله‌های کربنی و یا Buckytubes آرایشی از مولکول‌های کربن با ساختارنانویی استوانه‌ای می‌باشند. نسبت طول به ضخامت در نانولوله‌های کربنی (ضخامت به طول) ۱:۱۳۲،۰۰۰،۰۰۰ می‌باشد که بسیار منحصربه‌فرد است. چنین مولکول‌های کربن استوانه‌ای، دارای ویژگی‌های منحصربه‌فردی بوده که باعث استفاده از این مواد در کاربردهای نانوتکنولوژی، الکترونیک و علوم مواد و ... شده است. نانولوله‌های کربنی به دو صورت تک جداره Single-Walled Nanotubes (SWNT) و چند جداره Multi-Walled Nanotubes (MWNT) وجود دارند. پیوند شیمیایی که در اتصال نانولوله‌ها وجود دارد از نوع پیوندهای sp2است (مانند آنچه در گرافیت است). این پیوند که از پیوند sp3قوی‌تر است در الماس وجود دارد و چنین پیوندی باعث استحکام بیشتر سازه می‌گردد. در این بررسی امکان استفاده از این نوع نانو در افزایش خواص کاربردی کامپوزیت مورد توجه قرار می‌گیرد.

Shan و Mattuana (۲۰۰۹) استفاده از ذرات نانو تیوپ را در کامپوزیت چوب پلاستیک با استفاده از ماتریس PVC مورد توجه قرار دادند. آنان استفاده از ۰/۵ درصد نانو را در کامپوزیت بررسی کردند. نتایج آنان بیان می‌کند که استفاده از ذرات نانو تیوپ سبب بهبودی خواص مکانیکی و آتش‌گیری چندسازه شده است.

همچنین داشتن مدول الاستیک 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 می‌باشند (Popov VN, 2004).

بررسی خواص مکانیکی و حرارتی و همچنین ریخت‌شناسی نانو چندسازه چوب پلاستیک در سطوح مختلف مورد تحقیق قرارگرفت. 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 گردیده 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 ساخته شده‌اند، 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 برقرار می‌کند، بنابراین ترک به‌سختی در فاز 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 غیرقطعی‌شان با نانو رس منجر به تولید یک محصول نانو چندسازه‌ای خواهد شد (Matuana, 2003).

مطابق با بررسی‌های به‌عمل‌آمده در اتحادیه اروپا در سال ۲۰۰۰، ۸۵ درصد وزنی وسایل نقلیه مجبور به بازیافت تا سال ۲۰۰۵ شده بودند. این میزان می‌باید تا سال ۲۰۱۵ به حدود ۹۵ درصد برسد (Hobi, 2003; Peijs, 2003).

Hristove و همکاران (۲۰۰۴) بیان می‌کنند که خواص برخی از ضایعات پلیمری مشابه مواد اولیه‌شان می‌باشد. آنان با انجام آزمایش‌های متعدد تنها به اختلافات جزئی در خواص مکانیکی پلیمر پلی‌اتیلن دست یافتند. همچنین استفاده از ضایعات پلیمری در صنایع چندسازه چوب پلاستیک توسط سایر محققان مورد توجه قرار گرفته است (Kamdem *et al.*, 2004)

مواد و روش‌ها

مواد اولیه لیگنوسلولزی

پنج نوع ماده اولیه ضایعاتی کشاورزی در این بررسی مورد توجه قرار گرفت. این مواد شامل باگاس، ساقه ذرت، ساقه برنج، ساقه گندم و ساقه کلزا از نقاط مختلف کشور تهیه و به مجتمع تحقیقاتی البرز انتقال یافت. ترکیبات شیمیایی و مورفولوژیکی مواد لیگنوسلولزی مورد نظر در جدول ۱ آورده شده است. این مواد برای مدت یک هفته در محیط قرار گرفتند تا رطوبت آنها کم شود، سپس در مرحله بعد خرد و آسیاب شدند. پس از آسیاب برای دستیابی به ابعاد مورد نظر و ایجاد یکنواختی در اندازه ذرات، الک انجام شد و ذرات عبوری از مش ۴۰ و باقی‌مانده روی مش ۶۰ جمع‌آوری شدند. مواد جمع‌آوری شده در آون با دمای ۲± ۱۰۳ به مدت ۲۴ ساعت خشک شدند و برای عدم جذب رطوبت، در کیسه‌های پلاستیکی دربسته قرار گرفتند.

جدول ۱– ترکیبات شیمیایی و مورفولوژیکی مواد اولیه سلولزی مورد استفاده

ترکیبات شیمیایی	باگاس	ساقه ذرت	ساقه برنج	ساقه گندم	ساقه کلزا
سلولز (٪)	۵۵/۳	۴۶/۵	۴۸/۹	۵۱/۱۳	۵۵/۷
لیگنین (٪)	۲۱	۱۴/۲	۱۹/۱	۱۹/۵۷	۲۳/۵
مواد استخراجی* (٪)	۲/۹	۳/۶	۱۲/۳	۳/۳	۳/۵
خاکستر (٪)	۱/۹	۱/۲	۲/۵	۴/۸	۴/۱
طول الیاف (میلی‌متر)	۰/۹۶	۱/۰۱	۰/۱	۱/۱۳۲	۱/۳۱
ضریب کشیدگی (نسبت طول به قطر)	۴۲	۶۴/۱	۸۸/۹	۷۸/۱	۷۸/۷

*–حلال در آب گرم

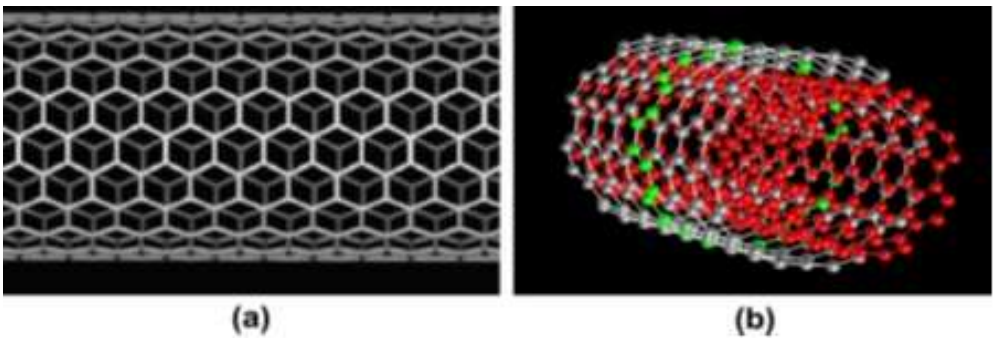
ماده شیمیایی جفت‌کننده

انیدرید مالییک پلی‌پروپیلنی پیوند خورده (MAPP) از شرکت آلدریچ (Alderich) با دانسیته ۰/۹۱ گرم بر سانتیمتر مکعب و با وزن مولکولی ۹۱۰۰ و گرانروی بروکفیلد ۴۰۰۰۰ سانتی پواز در دمای ۱۹۰ درجه سانتی‌گراد به میزان ۲ درصد تهیه و استفاده شد.

مواد نانو

نانولوله کربنی چند جداره (MWCNTs)

نانولوله‌های 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 خلوص آن ۹۰ درصد بوده است (شکل ۱).



شکل ۱- شماتیک نانو لوله تک جداره و چند جداره

نانورس

نانورس مورد استفاده در این تحقیق از نوع مونت موریلونیت اصلاح شده، با نام تجاری Cloisite 10A می‌باشد که توسط شرکت Southern-Clay تولید می‌شود (جدول ۲).

جدول ۲- مشخصات نانورس مورد استفاده

نام تجاری	شرکت تولیدکننده	غلظت اصلاح‌کننده (meg/100 g clay)	دانسیته حجمی (g/cc)	جرم ویژه (g/cc)	تفرق پرتو اشعه X (d001 Ao)
Cloisite 10A	Southern-Clay	۱۲۵	۰/۱۶۳۶	۱/۹۰	۱۹/۲

نانو ذرات سیلیس

همچنین از نانو ذرات سیلیس از محصولات شرکت آمریکایی US Research Nano Materials به‌عنوان پرکننده استفاده گردید که مشخصات آن در جدول ۳ آمده است.

جدول ۳- مشخصات نانو ذرات سیلیس

اندازه ذرات (nm)	سطح ویژه (m^2/g)	بالک دانسیته (g/cm^3)	دانسیته (g/cm^3)	درصد خلوص	رنگ
۱۱-۱۴	۱۸۰-۶۰۰	۰/۱	۲/۴	٪۹۹	سفید

ضایعات شهری

استفاده از ضایعات پلیمری در دنیا موضوعی ارزشمند است که به‌دلایل متعدد ازجمله ارزانی، بازیافت‌پذیری، ایجاد ارزش افزوده و کاهش انرژی مورد توجه محققان قرار گرفته است. انواع پلیمرهای ضایعاتی شامل پلی‌پروپیلن (PP) و پلی‌اتیلن سنگین (HDPE) دارای حجم تولید بسیار بالایی هستند. علاوه‌برآن پلی‌اتیلن تریفتالات (PET)، پلی‌استایرن (PS) و پلی‌اتیلن سبک (LDPE) نیز از حجم تولید قابل

توجهی برخوردارند. شکل ۲ نمونه‌ای از ضایعات پلیمری تهیه شده را نشان می‌دهد.

شکل ۲- مخلوط ضایعات پلاستیک شهری

مراحل ساخت نانو چوب – پلاستیک

به‌منظور فرایند اختلاط از دستگاه مخلوط‌ساز کولین واقع در پژوهشگاه پلیمر و پتروشیمی ایران استفاده شد. این دستگاه یک اکسترودر دو مارپیچه همسوگرد می‌باشد. سرعت مارپیچ‌ها ۴۰ دور در دقیقه و دمای ساخت چندسازه نیز در اکسترودر فوق ۱۸۰ درجه سانتی‌گراد است. مواد لیگنوسلولزی، ضایعات شهری (پلیمری) و ماده جفت‌کننده MAPP به همراه ذرات نانورس ابتدا به‌خوبی باهم مخلوط و بعد به قیف تغذیه دستگاه اکسترودر در یک مرحله ریخته شد. برای هر ۳۰ تیمار، مخلوط‌سازی به‌طور یکسان انجام شد. مخلوط نانو چوب-پلاستیک به‌صورت یک مفتول خمیری شکل از روزنه اکسترودر خارج و درون یک حوضچه آب که در جلوی آن تعبیه شده، سرد شد. برای ساخت نمونه‌های نهایی توسط دستگاه قالب‌گیری تزریقی، ابتدا باید مخلوط نانو چوب-پلاستیک تولید شده را به گرانول تبدیل کرد. برای این کار از دستگاه خردکن نیمه‌صنعتی شرکت WIESER مدل WG-LS 200/200 ساخت آلمان، واقع در پژوهشگاه پلیمر و پتروشیمی ایران استفاده شد. گرانول‌های ساخته شده به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد در آون آزمایشگاهی قرار گرفتند تا خشک شده و آماده مرحله تزریق شوند. گرانول‌های خشک شده در کیسه‌های پلاستیکی قرار داده شدند تا تبادل رطوبتی با محیط اطراف نداشته باشند. شکل ۳ مراحل ساخت کامپوزیت را نشان می‌دهد.

فرایند تزریق و ساخت نمونه‌ها

ساخت نمونه‌های آزمایشی توسط دستگاه اکسترودر تک ماردون مجهز به سیستم قالب‌گیری فشاری (دستگاه تزریق) انجام شد. دمای دستگاه ذکرشده ۱۸۰-۱۷۵ درجه سانتی‌گراد و سرعت تزریق آن۵۰ بار می‌باشد. پس از عملیات قالب‌گیری نمونه‌های کشش، خمش و ضربه فاقدار علامت‌گذاری شده و آماده آزمون خواص مکانیکی گردیدند. اندازه‌گیری خواص مکانیکی براساس آیین‌نامه‌های مربوطه در دستورالعمل ASTM و چهار تکرار انجام شد. اندازه‌گیری مقاومت و مدول‌کششی طبق آیین‌نامه ASTM-D638 با استفاده از نمونه‌هایی از نوع دمبلی و با سرعت بارگذاری ۵ میلی‌متر بر دقیقه انجام گردید. اندازه‌گیری آزمون خمش طبق

آیین‌نامه ASTM-D790 با سرعت بارگذاری ۲ میلی‌متر بر دقیقه انجام شد. مقاومت به ضربه آیزود طبق استاندارد ASTM- D256 از نوع شکافدار آیزود انجام شد. برای اندازه‌گیری خواص کشش و خمش از دستگاه اینسترون مدل ۱۱۸۶ استفاده گردید. همچنین آزمون ضربه توسط ماشین ضربه از نوع اینسترون PW5 انجام شد.

۳- مراحل مختلف ساخت چوب پلاستیک

شکل ۴- نمونه‌های ساخته شده برای آزمون‌های خمش، کشش و ضربه

جدول ۴- خلاصه تجزیه واریانس مقاومت‌های مکانیکی و فیزیکی

منبع	مقاومت کششی	مقاومت خمشی	مدول کششی	مدول خمشی	مقاومت به ضربه
نوع ماده چوبی	٠/٠٠٠**	٠/٠٠٠**	٠/٠٠٠**	ns٠/١١٨	٠/٠٠٠**
نوع نانورس	٠/٠٠٠**	٠/٠٠٠**	٠/٠٠٠**	ns٠/١١٨	٠/٠٠٠**
درصد پلیمر	٠/٠۴١*	٠/٠٠٣**	٠/٠٠٣**	٠/٠٢۶*	٠/٠١٩*
اثر متقابل (نوع ماده چوبی * درصد نانو)	ns٠/٣٧٧	٠/٠١۵*	٠/٠۴٣*	ns٠/٢٨۵	ns٠/١١٢
اثر متقابل (نوع ماده چوبی * درصد پلیمر)	ns٠/٣٧٧	٠/٠١۵*	٠/٠۴٣*	ns٠/٢٨۵	ns٠/١١٢
اثر متقابل (نوع ماده چوبی * درصد پلیمر درصد نانو)	ns٠/٣٧٧	٠/٠١۵*	٠/٠۴٣*	ns٠/٢٨۵	ns٠/١١٢

**: معنی‌دار در سطح ۱ درصد *: معنی‌دار در سطح ۵ درصد ns: معنی‌دار نیست

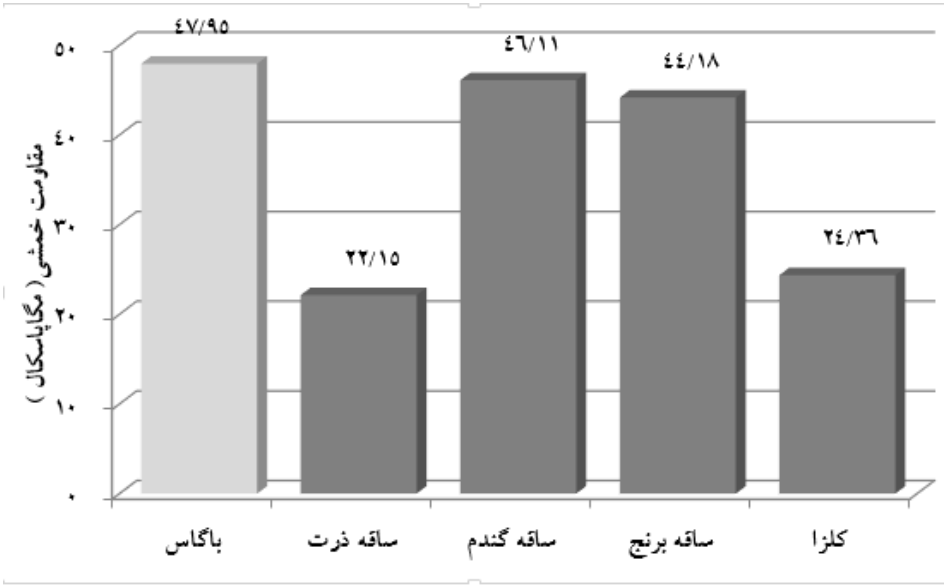
نتایج

اندازه‌گیری خواص فیزیکی و مکانیکی آزمون خمش مطابق با استاندارد ASTM آیین‌نامه D790 و با سرعت بارگذاری 2 min/mm و آزمون کشش مطابق با استاندارد ASTM آیین‌نامه ۶۳۸ D و با سرعت بارگذاری 5 min/mm بر روی نمونه‌ها انجام شد. برای این منظور از دستگاه Instron مدل 1186 استفاده شد.

جدول ۴ خلاصه تجزیه واریانس مقاومت‌های مکانیکی و اثرهای مستقل و متقابل نوع ماده چوبی و درصد نانورس و درصد مواد پلیمری را در سطح ۱ و ۵ درصد نشان می‌دهد. همچنین مقایسه میانگین‌ها به روش دانکن نیز مورد بررسی قرار گرفته است.

خواص خمشی

همان‌گونه که در شکل ۵ مشخص شده است اثرهای مستقل نوع ماده لیگنوسلولزی در سطح ۱ درصد بر مقاومت‌خمشی نانو چندسازه چوب پلاستیک معنی‌دار شده است. نتایج مقاومت خمشی نشان داده است که استفاده از ضایعات باگاس سبب افزایش مقاومت‌خمشی نسبت به گونه‌های دیگر شده است. به‌طوری‌که با مقایسه میانگین‌ها به روش دانکن نیز ملاحظه می‌شود که باگاس در گروه برتر (a) قرار می‌گیرد که نسبت به سایر گونه‌ها دارای افزایش ۵/۴۳ درصدی است. همچنین گونه‌های ساقه برنج و گندم در گروه‌های بعدی (b) و (c) قرار گرفته‌اند.

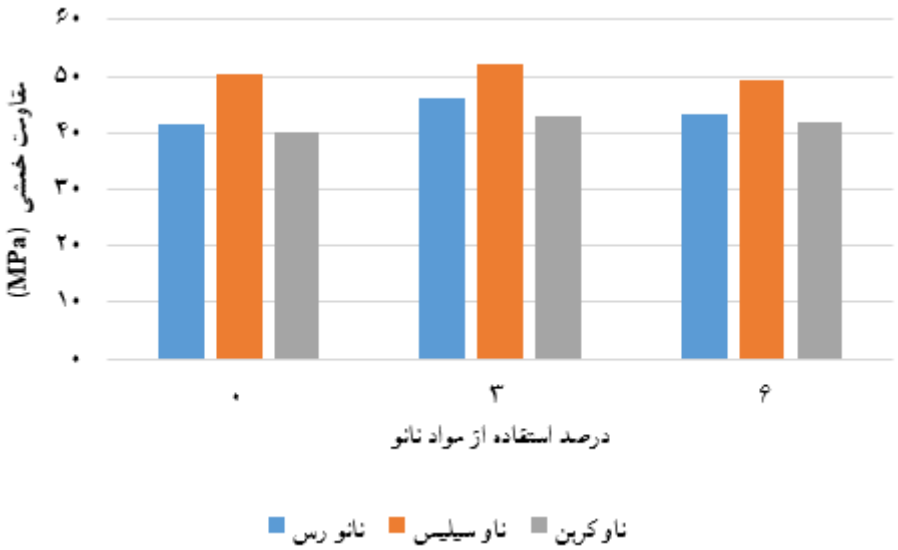


شکل ۵ – اثر مستقل مواد لیگنوسلولزی بر مقاومت خمشی نانو چندسازه چوب پلاستیک

همان‌گونه که در شکل ۶ مشخص می‌باشد اثرهای مستقل درصد نانو در سطح ۱ و ۵ درصد بر خواص خمشی نانو چندسازه چوب پلاستیک معنی‌دار شده است. نتایج مقاومت خمشی نشان داده است که استفاده از ۳ درصد نانو سبب افزایش مقاومت خمشی نسبت به تیمار شاهد و نانو در سطح ۶ درصد شده است. با مقایسه میانگین‌ها به روش دانکن نیز ملاحظه می‌شود که در حالت استفاده از ۳ درصد نانو مقاومت خمشی در گروه برتر (a) قرار می‌گیرد. همچنین تیمار ۶ درصد نانو (b) در گروه بعدی قرار داشته که نسبت به تیمار شاهد دارای افزایش ۱۱/۰۶ درصدی است.

نتایج مدول‌خمشی نیز نشان داده است که استفاده از ۳ درصد نانو سبب افزایش مدول‌خمشی نسبت به نانو در سطح ۶ درصد شده است. به‌نحوی‌که با مقایسه میانگین‌ها به روش

دانکن نیز ملاحظه می‌شود که در حالت استفاده از ۳ و ۶ درصد نانو مدول‌خمشی افزایش یافتـــه و به‌طور مشترک در گروه برتر (a) قرار گرفته‌اند که نسبت به تیمار شاهد دارای افزایش ۷/۵۴ و ۰/۷۴ درصدی به‌ترتیب بوده‌اند.



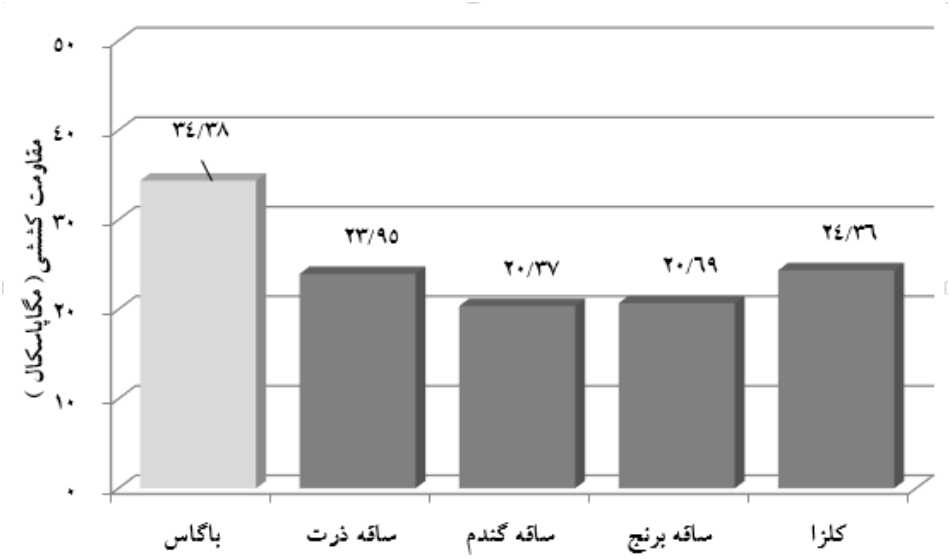
شکل ۶ – اثر مستقل درصد مواد نانو بر مدول خمشی نانو چندسازه چوب پلاستیک

مطابق با خلاصه جدول تجزیه واریانس، اثر متقابل استفـــاده از مـــواد لیگنوسلولزی و درصـــد نانورس بر مقاومت‌خمشی در سطح ۵ درصد معنی‌دار شده است. Han و همکاران (۲۰۰۸) تقریباً به نتایج مشابهی دست یافتند، آنان در مورد نانو رس بیان کردند که افزایش مقاومت‌خمشی در چندسازه‌های حاوی نانورس با ضریب لاغری ذرات نانورس و تشکیل ساختار بین لایه‌ای مرتبط می‌باشد.

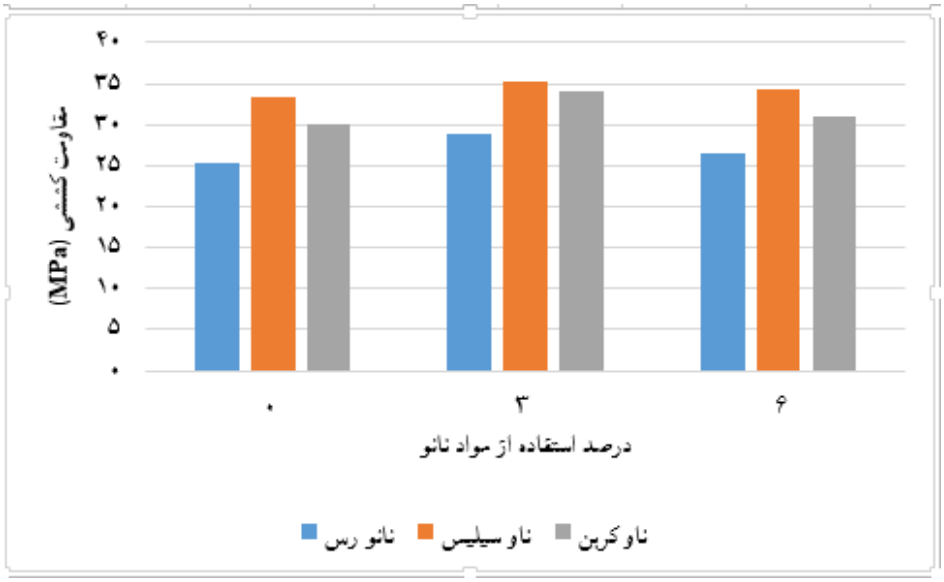
خواص کششی

با توجه به جدول تجزیه واریانس مشخص شده که اثرهای مستقل نوع ماده لیگنوسلولزی، درصد مواد نانو و نوع ماده پلیمری بر مقاومت در سطح ۱ درصد معنی‌دار می‌باشد. نتایج مقاومت‌کششی نشان داده است که بین گونه‌های لیگنوسلولزی باگاس سبب افزایش مقاومت کششی نسبت به ساقه برنج، گندم، ذرت و کلزا (شکل ۷) شده است. با مقایسه میانگین‌ها به روش دانکن نیز ملاحظه می‌شود که گونه باگاس در گروه برتر (a) قرار می‌گیرد. همچنین گونه کلزا و سایر گونه‌ها در گروه بعدی (b) قرار گرفته‌اند. نتایج به‌دست آمده با بررسی‌های Lee و همکاران (۲۰۰۸) در زمینه استفاده از آرد چوب صنوبر هم‌خوانی داشته است. آنان بیان کردند که با اضافه کردن نانورس، سازگارکننده و آرد چوب صنوبر، پایداری حرارتی هیبریدها به‌طور چشمگیری افزایش یافته است. همچنین مدول و مقاومت‌کششی هیبریدها نسبت به هیبریدهای بدون آرد چوب صنوبر افزایش داشته است.

همان‌گونه که در شکل ۸ مشخص است اثرهای مستقل درصد نانورس در سطح ۱ درصد بر خواص کششی نانو چندسازه چوب پلاستیک معنی‌دار شده است. نتایج مقاومت کششی نشان داده است که استفاده از ۳ درصد نانورس سبب افزایش مقاومت‌کششی شده است. به‌طوری‌که با مقایسه میانگین‌ها به روش دانکن نیز ملاحظه می‌شود که در حالت استفاده از ۳ درصد نانورس مقاومت‌کششی در گروه برتر (a) قرار می‌گیرد.



شکل ۷– اثر مستقل مواد لیگنوسلولزی بر مقاومت خمشی نانو چندسازه چوب پلاستیک



شکل ۸– اثر مستقل درصد مواد نانو بر مقاومت به کشش نانو چندسازه چوب پلاستیک

خواص ضربه‌ای

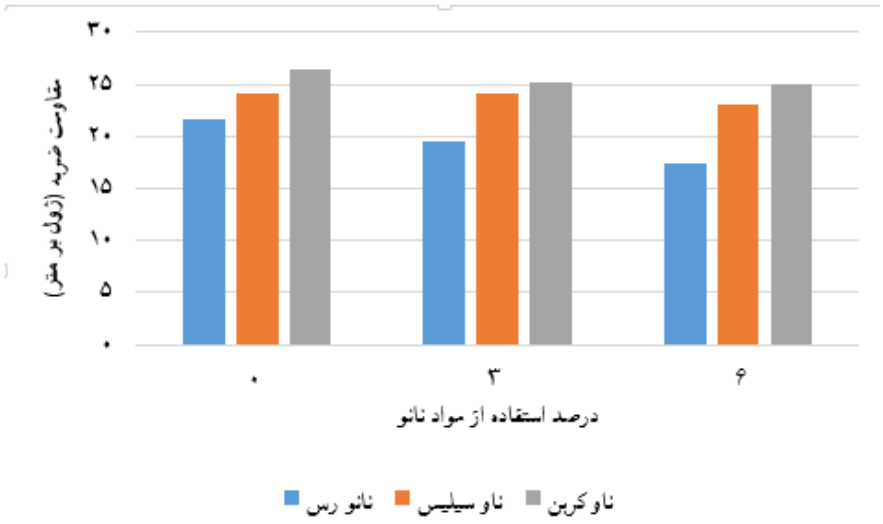
همان‌گونه که در شکل ۹ مشخص شده است اثرهای مستقل نوع ماده لیگنوسلولزی در سطح ۱ درصد بر مقاومت به ضربه نانو چندسازه چوب پلاستیک معنی‌دار شده است. نتایج مقاومت به ضربه نشان داده است که استفاده از مواد لیگنوسلولزی برنج سبب افزایش مقاومت به ضربه نسبت به سایر مواد لیگنوسلولزی شده است. با مقایسه میانگین‌ها به روش دانکن نیز ملاحظه می‌شود که ساقه برنج در گروه برتر (a) قرار می‌گیرد.

در شکل ۱۰ اثر مستقل درصد نانورس در سطح ۱ درصد بر خواص ضربه‌ای نانو چندسازه چوب پلاستیک معنی‌دار شده است. با مشاهده میانگین‌ها ملاحظه شده است که با افزودن نانورس در دو سطح ۳ و ۶ درصد مقاومت به ضربه نسبت به شاهد کاهش یافته است.

با افزایش میزان نانورس مقاومت به ضربه کاهش پیدا می‌کند. این مسئله می‌تواند به دلیل وجود ذرات نانورس در ماتریس پلی‌پروپیلن باشد که باعث ایجاد نقاط پرتنش می‌شود. این نقاط می‌توانند مکان‌هایی برای شروع شکست و ترک باشند. همچنین سفت شدن زنجیره‌های پلیمری بر اثر افزودن ذرات نانورس را نیز می‌توان دلیل دیگر این پدیده دانست.

اثر مثبت ماده جفت‌کننده بر افزایش اتصال بین ماتریس و مواد لیگنوسلولزی باعث افزایش مقاومت به ضربه در نمونه‌های فاقد ذرات نانورس شده است. Heristof و همکاران (۲۰۰۴) نیز به نتایج مشابهی دست یافتند، آنان بیان کردند که افزایش ذرات نانو باعث افزایش نقاط پرتنش در ماتریس نمونه‌ها می‌شود که عامل اصلی کاهش مقاومت به ضربه در نمونه‌های با میزان ذرات نانورس بیشتر است.

شکل ۹– اثر مستقل نوع ماده لیگنوسلولزی بر مقاومت به ضربه نانو چندسازه چوب پلاستیک



شکل ۱۰– اثر مستقل درصد مواد نانو بر مقاومت به ضربه نانو چندسازه چوب پلاستیک

بحث

در این تحقیق برای بهبود خواص فیزیکی و مکانیکی چندسازه چوب پلاستیک، از مواد لیگنوسلولزی (باگاس ساقه برنج، گندم و ساقه ذرت و کلزا) به‌عنوان مواد اولیه

تقویت‌کننده استفاده شده است. همچنین اثر نوع مواد نانو در سطوح مختلف (۳ و ۶ درصد) بر عملکرد چندسازه چوب پلاستیک و ضایعات پلیمر شهری مورد توجه قرار گرفت.

نتایج مقاومت‌خمشی نشان داده است که استفاده از باگاس سبب افزایش مقاومت نسبت به ساقه برنج، کلزا، ذرت و گندم شده است. همچنین نتایج مقاومت کششی نیز نشان داده است که استفاده از باگاس سبب افزایش مقاومت کششی نسبت به ساقه برنج و گندم شده است. نتایج مدول‌کششی نیز نشان داده است که استفاده از چوب صنوبر سبب افزایش مدول‌خمشی نسبت به تیمار شاهد شده و ساقه برنج نیز در گروه بعدی قرار گرفته که دارای میزان مدول‌کششی بالاتری نسبت ساقه گندم و باگاس بوده است. نتایج مقاومت به ضربه نشان داده است که استفاده از گونه‌های گندم و باگاس سبب افزایش مقاومت به ضربه نسبت به ساقه برنج و چوب صنوبر شده است. به‌طورکلی استفاده از چوب صنوبر و باگاس نسبت به ساقه گندم و برنج در تولید چندسازه چوب پلاستیک به کمک ذرات نانورس سبب افزایش ویژگی‌های مقاومتی شده است. نتایج مقاومت‌های مکانیکی نشان داده است که استفاده از ۳ درصد ذرات نانورس باعث افزایش مقاومت و مدول‌کششی و خمشی نسبت به ۶ درصد ذرات نانورس شده است. همچنین نتایج نشان داده است با افزودن ذرات نانورس از ۳ به ۶ درصد مقاومت به ضربه کاهش یافته که در مقایسه با چندسازه چوب پلاستیک ساخته شده بدون اضافه کردن ذرات نانورس دارای کاهش خواص ضربه‌ای می‌باشند. به کمک عکس‌برداری الکترونی پویشی (SEM) شواهد مربوط مورد تجزیه‌وتحلیل قرار گرفت. حضور حفره‌ها در سطح شکست نمونه حاوی ۶ درصد ذرات نانورس نشان از اتصال ضعیف بین ماده لیگنوسلولزی و ماتریس پلیمری دارد. مقایسه سطح شکست نمونه حاوی ۳ درصد ذرات نانورس با حفره‌های کمتر اتصال مناسب‌تر بین ماده زمینه و ماده لیگنوسلولزی را به وجود آورده است. همچنین به‌منظور مشاهده دقیق‌تر ساختار چندسازه چوب پلاستیک / نانورس از تصاویر میکروسکوپ انتقالی (TEM) استفاده گردید. تصاویر چندسازه پلی‌پروپیلن الیاف چوب حاوی ۳ و ۶ درصد نانورس نشان دادند که تشکیل ساختارهای بین‌لایه‌ای و درون لایه‌ای در چندسازه یادشده قابل تشخیص است، به‌طوری‌که در زمان استفاده از ۳ درصد ذرات نانورس خواص بهتری مشاهده می‌گردد.

انواع گرمانرم‌ها که به شکل‌های مختلف تولید می‌شوند بعد از مصرف می‌توانند بازیافت شوند. نتایج تحقیقات در این زمینه نشان داده که می‌توان از انواع ضایعات چوبی و سلولزی به‌همراه ضایعات پلیمری در ساخت کامپوزیت چوب - پلاستیک استفاده کرد. ازاین‌رو با توجه به قابلیت‌های ویژه این مواد استفاده گسترده از آنها باید مورد توجه قرار گیرد. برخی از مهمترین موارد استفاده و ویژگی‌های کامپوزیت‌های چوب -پلاستیک عبارتند از:

- استفاده از انواع ضایعات پلاستیکی، زباله‌های پلیمری و شهری در تولید کامپوزیت چوب -پلاستیک؛
- تجزیه سریع‌تر این نوع کامپوزیت‌های چوب -پلاستیک پس از مصرف و کاهش اثرهای تخریب محیط نسبت به مواد خالص شیشه‌ای و پلیمری که تجزیه آنها صدها سال به طول انجامیده و اثرهای مخرب زیست‌محیطی را در طبیعت به‌دنبال دارند؛
- کاهش هزینه‌های تولید و کاهش وزن کامپوزیت در مسائل مربوط به ساخت قطعات داخلی خودرو و حمل‌ونقل؛
- استفاده از طیف گسترده پسماندهای الیاف کشاورزی (سلولزی) ، ضایعات کاغذی، روزنامه‌ای، کارتن و مقوا در ترکیب ساخت کامپوزیت.

منابع مورد استفاده

-Fu, J., and Naguib, H.E., 2006. Effect of nanoclay on the mechanical properties of PMMA/clay nanocomposites foams. Journal of Cellular Plastic. 45. 325-342.

-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. 16. 123–130.

-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.
-Lee, S.Y., I.A. Kang, G.H. Doh, W.J. Kim, J.S. Kim, H.G. and Yoon, Q., 2008. Thermal, mechanical and morphological properties of polypropylene/clay/wood flour nanocomposites. Express Polymer Letters. 2 (2). 78–87.
-Mustapha, M., Hassan, A., and Rahmat, A. 2005. Perliminary study on the mechanical properties of polypropylene rice husk composites. Symposium polimer kebangsaan ke-v hotel residwnce. Aug 2005. 23-24 .
-Nourbakhsh, A., Farhani Baghlani F., Ashori, A. 2011. Nano-Sio2 filled rice husk/polypropylene composites: Physico-mechanical properties. Industrial crops and products. 22. 183-187.
-Ray, S., Okamoto, M.. 2003. Polymer/layered silicate nanocomposites: a review from preparation to processing. Progress in Polymer Science. 28. 1359-1641.
- Wang, L., K, Wang, L, Chen, Y, Zhang, C, He, 2005. Preparation, morphology and thermal/mechanical properties of epoxy/ nano clay composite.
-Yeh Shu-Kai, Gupta Rakesh K.. 2010. Nano clay-Reinforced, Polypropylene-Based Wood–Plastic Composites. Polymer Engineering and Science. DOI 10.1002/pen.21729.
-Yuan. Q., and Misra, R.D.K., 2007. High strength-toughness combination of melt intercalated nanoclay-reinforced thermoplastic olefins. Material Science Engineering A, 277-287.
-Zhao, Y., Wang, K., Zhu, F., Xue, P. and Jia, M. 2006. Properties of poly (vinyl chloride)/wood flour/montmorillonite composites: Effects of coupling agents and layered silicate. Journal of Polymer Degradation and Stability, 91, 2874-2883.
-Zhou,Y., Rangari, V., Mahfuz, H., Jeelani, Sh., Mallick, P.K. 2005. Experimental study on thermal and mechanical behavior of polypropylene, talc/polypropylene and polypropylene/clay nanocomposites. Materials Science and Engineering A. 402. 109–117.

Production of plastic wood nanocomposites using agricultural residues and urban polymer waste

A. Nourbakhsh[1*], A. Kargarfard[2], R. Hajihassani[3], S. Ghahri[3] and F. Golbabaei[4]

1*-Corresponding author, 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
2-Associate Prof., Wood and forest products division, Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran
3-PhD., Wood and Paper Science, Wood and forest products division, Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran
4-M.Sc., Wood and forest products division, Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran

Received: June, 2020 Accepted: Nov., 2020

Abstract

In this study, the strength properties of plastic wood nanocomposite produced using 5 levels of cellulosic residues (bagasse, corn stalk, rice straw, sunflower and canola stem), three levels of nanomaterials (carbon nanotubes, nano silica, nanoclay) and urban polymer wastes (PP polypropylene and HDPE, etc.) were investigated. In order to chemically bind the wood / polymer fiber composites, chemicals and reinforcement, coupling agent was used. Extruders and hot presses were used to fabricate the composites. The mechanical properties and bonding strength of the composites were measured using relavent DIN test methods. The results showed that the use of HDPE polymer wastes increased tensile strength, flexural modulus and impact resistance compared to polypropylene wastes. Regarding the use of agricultural residues in the production of wood-plastic composites, in general, the results have shown that the addition of agricultural residues in several types of plastic wood has significantly improved the bending and tensile properties. Among them, the bagasse has a significant advantage over other lignosullose materials. The use of polymer waste and agricultural residues and using nano-silica has shown the best results in strength properties. In general, the results have shown that the use of agricultural fiber residues as reinforcement in plastic woodcomposites improved the expected mechanical properties.

Keywords: Nano, bagasse, corn, wheat, flexural strength, tensile strength.