

مقایسه چهار ماده لیگنوسلولزی در تولید چندسازه چوب پلاستیک/نانورس

امیر نوربخش*

*- نویسنده مسئول، دانشیار پژوهشی، بخش تحقیقات علوم چوب و فرآورده‌های آن، موسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور،

پست الکترونیک: noubakhsh_amir@yahoo.com

تاریخ پذیرش: اسفند ۱۳۹۰

تاریخ دریافت: مهر ۱۳۹۰

چکیده

در این تحقیق برای بهبود خواص فیزیکی و مکانیکی چندسازه چوب پلاستیک، از چند ماده لیگنوسلولزی (باگاس، ساقه برنج، گندم و چوب صنوبر) به‌عنوان تقویت‌کننده استفاده شده و همچنین اثر نانورس در چندسازه پلی‌پروپیلن/چوب پلاستیک بررسی شده است. مقدار نانورس در سه سطح مختلف (صفر، ۳ و ۶ درصد وزنی) متغیر بوده است. ویژگی‌های مقاومت‌کششی، خمشی و ضربه مطابق با آیین‌نامه استاندارد ASTM اندازه‌گیری شدند. همچنین برای تفسیر نتایج عکسبرداری الکترونی پویشی (SEM) و عکسبرداری الکترونی انتقالی (TEM) و پراش اشعه ایکس (XRD) انجام گرفت. با استفاده از آزمون فاکتوریل دو عامله در قالب بلوک‌های کامل تصادفی تجزیه و تحلیل آماری انجام شد و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن (DMRT) مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که استفاده از باگاس و چوب صنوبر سبب افزایش ویژگی‌های مقاومتی نسبت به دو ماده ساقه گندم و برنج گردیده است. با بررسی اثر میزان مصرف ذرات نانورس مشخص گردید که در صورت استفاده از ۳ درصد ذرات نانورس ویژگی‌های مقاومتی چندسازه به حداکثر رسیده است. بررسی نوع فازها و ریخت‌شناسی چندسازه نانو چوب پلاستیک به کمک طیف پراش اشعه ایکس و میکروسکوپ الکترونی نشان دهنده تشکیل ساختارهای بین لایه‌ای و درون لایه‌ای است. در صورت استفاده از ۳ درصد ذرات نانورس جدایی نسبی لایه‌های سیلیکاتی (لایه لایه‌ای) مشاهده شد، که می‌تواند ناشی از تشکیل ساختار درون لایه‌ای باشد.

واژه‌های کلیدی: چندسازه، مواد لیگنوسلولزی، ذرات نانورس، ویژگی‌های مقاومتی و عکسبرداری SEM، TEM.

مقدمه

از مصالحی از قبیل فلزات، سرامیک‌ها، چوب و پلاستیک‌های معمولی به‌دست می‌آید، بلکه مواد لیگنوسلولزی شامل الیاف چوب، آرد چوب، خاک اره، خرده‌چوب، پوشال، خمیر کاغذ و ... که از انواع مواد مانند چوب، باگاس، کلزا، کنف، کتان، ذرت و دیگر مواد طبیعی تجدیدپذیر بدست می‌آید نیز مرحله ناپیوسته چندسازه‌ها را تشکیل می‌دهند. اهمیت مواد لیگنوسلولزی به اندازه‌ای زیاد

در عصر حاضر پیشرفت‌های زیادی در زمینه‌ی مواد حاصل شده و توسعه‌ی آینده آن نیز در گرو یافتن مواد جدید می‌باشد. در این میان، ظهور چندسازه‌ها بیانگر قدم‌های بزرگی هستند که در راه تکامل مواد مهندسی، برداشته می‌شوند. با ترکیب فیزیکی - شیمیایی دو یا چند ماده، علاوه بر اینکه موادی سبک‌تر و در عین حال محکم‌تر

هشت وجهی‌های هیدروکسید آلومینیوم یا هیدروکسید منیزیم، نفوذ کرده‌اند. ضخامت لایه‌ها در حدود یک نانومتر می‌باشد و ابعاد خارجی این لایه‌ها بین ۳۰ نانومتر تا چندین میکرون متغیر می‌باشد که به نوع سیلیکات لایه‌ای هم بستگی دارد. لایه‌ها در اثر نیروهای وان دروالسی کنارهم قرار گرفته‌اند و بین لایه‌ها یک شکاف وجود دارد که به آن فاصله بین لایه‌ای^۱ گفته می‌شود. جایگزینی‌های بدون تغییر شکل بلورها در فضای بین لایه‌ای (به‌عنوان مثال جایگزینی Al^{3+} با Mg^{2+} یا Fe^{2+} و Mg^{2+} با Li^+) باعث تولید بار منفی می‌شود و این بار منفی با بار فلزهای قلیایی یا قلیایی خاکی درون فضای بین لایه‌ای، در تعادل می‌باشد. در این نوع از سیلیکات‌های لایه‌ای، بار سطحی ظرفیت جایگزینی یونی^۲ (CEC نامیده می‌شود و واحد آن میلی‌اکیوالان به ازای ۱۰۰ گرم می‌باشد. این بار در مناطق مختلف یکسان نیست و از سطحی به سطح دیگر تغییر می‌کند و باید به صورت مقدار متوسط برای کل شبکه بلور محاسبه شود. مونتموریلونیت^۳، سپونیت^۴ و هکتوریت^۵ رایج‌ترین نوع سیلیکات‌های لایه‌ای مورد استفاده هستند. سیلیکات‌های لایه‌ای، دارای دو نوع ساختار شامل: چهار وجهی جایگزین شده و هشت وجهی جایگزین شده هستند در مورد چهار وجهی جایگزین شده، بار منفی روی سطح سیلیکات لایه‌ای قرار دارد. بنابراین ماتریس پلیمری می‌تواند برهم‌کنش راحت‌تر و سریعتری با سطح آن برقرار نماید (ری و اوکاموتو، ۲۰۰۳).

شده است که این مواد امروزه به‌عنوان تقویت‌کننده پلاستیک‌ها مورد توجه بسیاری از محققان قرار گرفته‌اند. مواد پلیمری که همان ماده زمینه یا ماتریس می‌باشند شامل پلیمرهای گرمانرم و یا پلیمرهای گرماسخت (اپوکسی، اوره فرمالدهید، فنل فرمالدهید و ...) می‌باشد. در دهه اخیر زمینه جدیدی تحت عنوان نانوچندسازه‌ها در عرصه علم و فناوری وارد شده است و از آن پس تاکنون موضوع بسیاری از تحقیقات انجام شده و پیشرفت‌های بدست آمده بوده است. دستیابی به علم و فناوری نانوچندسازه‌ها امکان طراحی و بهینه‌سازی را در ابعاد مولکولی فراهم می‌سازد. نانوچندسازه‌ها به موادی متشکل از بیش از دو جزء گفته می‌شود که یکی از اجزای آن در ابعاد نانومتر باشد و در جزء دیگر پراکنده شده باشد. البته یک چندسازه باید دارای خواص بهتری از هر دو جزء تشکیل‌دهنده آن (حداقل در یکی از خواص) باشد.

نانوچندسازه‌ها دارای خواص منحصر به فردی هستند که باعث علاقه‌مندی دانشمندان به این زمینه شده است. افزودنی‌های استفاده شده در ابعاد نانومتر (nm) در ماتریس باعث ایجاد سطح مشترک قابل توجهی می‌شوند که دستیابی به این سطح مشترک فقط با افزودنی‌های با ابعاد بزرگتر (میکرومتر)، با به کار بردن درصد بالایی از این افزودنی‌ها میسر می‌شود. افزایش مقاومت حرارتی، مکانیکی و نفوذپذیری با تشکیل این سطح فعال به وجود آمده قابل توجه است.

سیلیکات لایه‌ای استفاده شده برای آماده‌سازی نانوچندسازه‌ها به یک دسته کلی فیلوسیلیکات‌ها تعلق دارند. ساختار بلوری این سیلیکات‌ها متشکل از ساختار لایه‌ای مشتمل بر ۲ چهار وجهی که در رئوس آن اتم‌های سیلیکون قرار دارند می‌باشد که در ورقه‌هایی متشکل از

1- Gallery

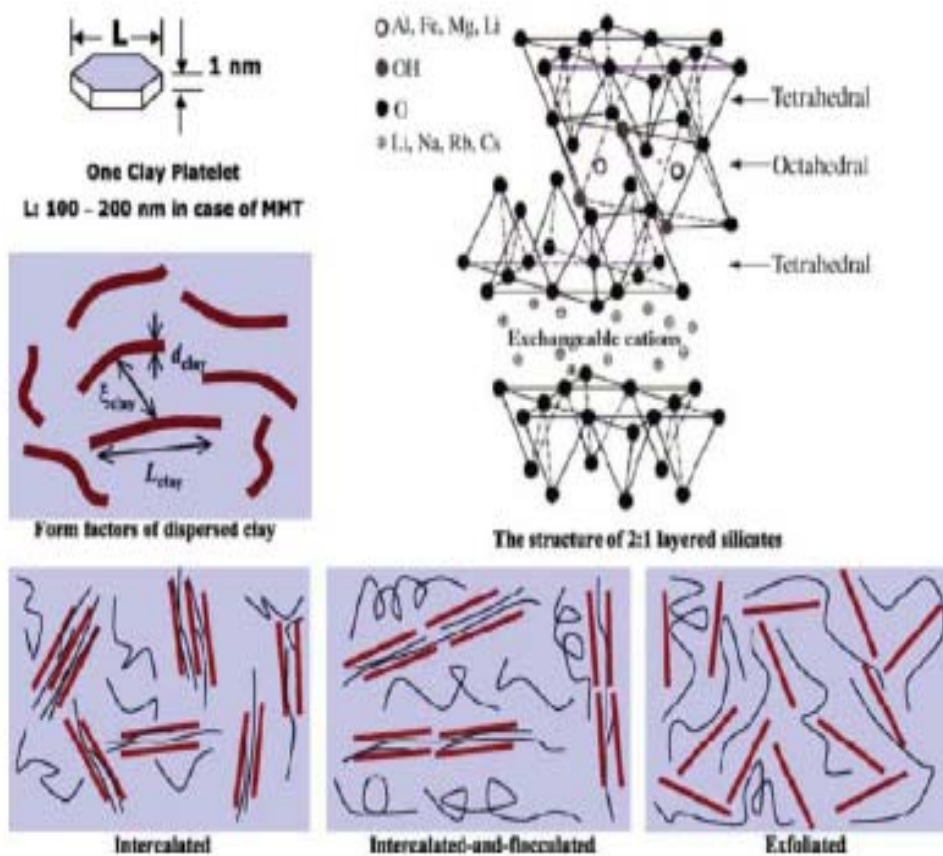
2-Cation exchange capacity

3-Montmorillonite

4-Saponite

5-Hectorite

6-Ray & Okamoto



شکل ۱ - ساختار سیلیکات لایه‌ای یا فیلوسیلیکات (ری و اوکاموتو، ۲۰۰۳)

همکاران (۲۰۰۵)^۱ به بررسی رفتار مکانیکی و حرارتی نانوجندسازه‌های پلی‌پروپیلن خالص، ۴۰٪ تالک / پلی‌پروپیلن و ۵٪ خاک رس سیلیکاته (مونت موریلونیت) / پلی‌پروپیلن پرداختند. نتایج DSC و TGA نشان دادند که ذرات تالک یا نانورس در پلی‌پروپیلن می‌تواند دمای تجزیه را افزایش دهد، اما تأثیری بر دمای تبدیل شیشه‌ای و دمای ذوب ندارند. نتایج اندازه‌گیری مقاومت کششی نشان دادند که ۴۰٪ تالک می‌تواند مدول الاستیک را افزایش دهد، اما تاب ارتجاعی^۲ را

دو ویژگی خاص ویژه سیلیکات‌های لایه‌ای، هنگام بررسی نانوجندسازه‌ها دارای اهمیت می‌باشد. نخست توانایی ذرات سیلیکات جهت پخش شدن در ماتریس پلیمری و تبدیل شدن به لایه‌های مجزا از هم و دیگر قابلیت تبدیل سطح لایه‌ها به سطوح مناسب و سازگار با ماتریس پلیمری بوسیله واکنش‌های تبادل یونی می‌باشد. این دو ویژگی توأم حائز اهمیت می‌باشند. زیرا میزان پخش شدن لایه‌ها در ماتریس پلیمری به میزان بار یونی بین لایه‌ها بستگی دارد.

در این راستا تحقیقات گسترده‌ای در دنیا و ایران انجام شده که به ذکر تعدادی از آنها پرداخته می‌گردد. ژو و

1 - Zhou et. al
2-yield strength

مکانیکی را گزارش نمودند. آنها نتیجه گرفتند که با افزایش پرکننده مقاومت خمشی و تغییر طول شکست بهبود یافته، در حالی که مقاومت کششی و ضربه کاهش می‌یابد. همچنین گزارش کردند که ویژگی‌های مکانیکی نانو چندسازه تولید شده از کلش برنج نسبت به پوست راش بهتر است. همچنین با افزایش پرکننده جذب آب و واکنش‌پذیری ضخامت افزایش یافت.

در این تحقیق برای بهبود خواص مکانیکی و فیزیکی چوب - پلاستیک، از ذرات نانو (نانورس) و از مواد لیگنوسلولزی باگاس، ساقه‌برنج، گندم و چوب صنوبر به‌عنوان مواد اولیه چوبی استفاده شده است. از آزمون تفرق اشعه ایکس و همچنین تصاویر حاصل از میکروسکوپ الکترونی پویشی نیز برای بررسی دقیق‌تر استفاده شده است.

مواد و روشها

عوامل متغیر این تحقیق شامل چهار ماده لیگنوسلولزی چوب صنوبر، باگاس، کاه‌گندم و کاه‌برنج، ۳ سطح نانورس ۰، ۳ و ۶ درصد می‌باشد. در تمام ۱۲ تیمار مقدار ماده جفت‌کننده ثابت و برابر ۲ درصد وزنی است. همچنین از پلی‌پروپیلن خالص به‌عنوان شاهد مطابق با روش ساخت چندسازه‌ها استفاده شده است.

تهیه مواد اولیه

چهار ماده لیگنوسلولزی (چوب صنوبر، باگاس، کاه‌گندم و برنج) 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

کاهش می‌دهد، ۵٪ نانورس هم می‌تواند مدول الاستیک و تاب ارتجاعی را افزایش دهد. فو و ناگیب (۲۰۰۶)^۱ در تحقیقی تحت عنوان بررسی تأثیر ذرات نانورس بر خصوصیات مکانیکی چندسازه‌ها بیان کردند که تنها میزان ۰/۵ درصد مونتموریلینیت باعث افزایش قابل ملاحظه‌ای در مدول الاستیته، مقاومت کششی، مقاومت خمشی و ازدیاد طول در نقطه پارگی چندسازه می‌شود. البته آنها عنوان کردند که افزایش بیش از حد ذرات نانو موجب کاهش مقاومت‌های مکانیکی در چندسازه‌ها می‌گردد و بهترین مقدار مصرف پرکننده نانورس را بین ۴-۵٪ گزارش کردند. ژائو و همکاران (۲۰۰۶)^۲ بررسی مونتمورلونیت اصلاح شده بر روی خواص چندسازه حاصل از آرد چوب و پلی وینیل کلراید دریافتند که با افزایش مقدار ذرات نانورس در حضور عامل سازگارکننده سیلانی خواص مکانیکی شامل مقاومت به ضربه و مدول کششی به ترتیب ۱۴/۸٪ و ۱۸/۵٪ افزایش یافت. همچنین آنها دریافتند که وجود لایه‌های سیلیکاتی موجب بهبود خواص آتش‌گیری چندسازه حاصل گردید. ونگ و همکاران (۲۰۰۵) خصوصیات ریخت‌شناسی و مکانیکی گرمایی چندسازه‌های تقویت شده با ذرات نانورس را مورد مطالعه قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که این پُرکننده‌ها به علت ساختار exfoliation (لایه لایه‌ای) موجب پراکنش بهتر ذرات در ماتریس پلیمری شده و در نهایت مدول کششی، مقاومت کششی و سختی کامپوزیت افزایش می‌یابد. نوربخش و همکاران (۲۰۱۱)^۳ با استفاده از کلش برنج، پوست راش، نانوسیلیس و پلی‌پروپیلن چوب-پلاستیک تولید کردند و خواص فیزیکی و

1- Fu & Naguib

2- Zhao et. al

3- Nourbakhsh, Farhani Baghlani & Ashori

گرفتند. میزان مواد لیگنوسلولزی ۰.۴٪ وزن کل چندسازه ثابت در نظر گرفته شد. جدول ۱ ترکیبات شیمیایی ماده اولیه لیگنوسلولزی مورد بررسی را نشان می‌دهد.

ذرات عبوری از مش ۴۰ و باقی مانده روی مش ۶۰ جمع‌آوری شدند. مواد جمع‌آوری شده در آن با دمای 103 ± 2 به مدت ۲۴ ساعت خشک شدند و جهت عدم جذب رطوبت، در کیسه‌های پلاستیکی دربسته قرار

جدول ۱- ترکیبات شیمیایی چهار گونه لیگنوسلولزی

| گونه | سلولز (%) | لیگنین (%) | مواد استخراجی (%) | خاکستر (%) |
|-------|-----------|------------|-------------------|------------|
| صنوبر | ۵۱/۲۵ | ۲۲/۳۰ | ۱/۲ | ۰/۷ |
| باگاس | ۵۲/۷۲ | ۲۰/۶۳ | ۰/۸۹ | ۱/۳۵ |
| گندم | ۵۱/۱۳ | ۱۹/۵۷ | ۳/۳ | ۴/۸ |
| برنج | ۵۷/۱۲ | ۳۳/۵۲ | - | ۱۴/۲۴ |

روی ۴ پوآز با وزن مولکولی ۹۱۰۰ و ۱ درصد مالییک‌انیدرید پیوند خورده به‌عنوان سازگارکننده استفاده شد. مقدار MAPP مورد استفاده در تمام تیمارها ۲ درصد وزنی چندسازه بوده است.

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).

در این تحقیق از پلی پروپیلن گرانول تولید شده در کارخانه «پتروشیمی اراک» از نوع Moplen- V30S با شاخص جریان مذاب ۱۸ g/10min و چگالی ۰/۹ گرم بر سانتیمتر مکعب، درصد ازدیاد طولی ۴/۷۵، مقاومت کششی ۲۳/۵ مگاپاسکال، مقاومت خمشی ۳۸/۵۰ مگاپاسکال و مدول خمشی ۱۱۵۰ مگاپاسکال به میزان ۶۰ درصد وزنی چندسازه استفاده شد.

از مالئیک‌انیدرید پیوند یافته به پلی پروپیلن (MAPP) به‌عنوان عامل جفت‌کننده با نام تجاری Aldrich و گران

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 ($d_{001} A^\circ$) |
|--------------|-----------------|-----------------------------------|---------------------|-----------------|--|
| Cloisite 10A | Southern-Clay | ۱۲۵ | ۰/۱۶۳۶ | ۱/۹۰ | ۱۹/۲ |

سرعت مارپیچ‌ها ۴۰ دور در دقیقه و دمای ساخت چندسازه نیز در اکسترودر فوق ۱۸۰ درجه سانتیگراد می‌باشد. مواد لیگنوسلولزی، گرانول پلی پروپیلن و ماده جفت‌کننده MAPP به همراه ذرات نانورس ابتدا به خوبی

مراحل ساخت نانو چوب - پلاستیک

به منظور فرایند اختلاط از دستگاه مخلوط‌ساز کولین واقع در پژوهشگاه پلیمر و پتروشیمی ایران استفاده شد. این دستگاه یک اکسترودر دو مارپیچه همسوگرد می‌باشد.

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 انجام شد.

میکروسکوپ الکترونی پویشی (SEM)

برای بررسی دقیق نتایج از میکروسکوپ الکترونی پویشی مدل Philips XL 30 واقع در مرکز تحقیقاتی انرژی اتمی استفاده شد. سطح شکست مقاطع حاصل از نمونه‌های آزمون کشش مورد بررسی قرار گرفت.

میکروسکوپ الکترونی انتقالی (TEM)

برای بررسی تشکیل اتصالات نانو چندسازه و مطالعات ریخت‌شناسی به‌وسیله عکسبرداری میکروسکوپ الکترونی پویشی از دستگاه TEM مدل Zeiss EM900 با جریان ولتاژ ۸۰ KV شرکت کفا استفاده شد.

پراش اشعه ایکس (XRD)

برای ارزیابی مورفولوژی و ساختار تشکیل شده در نانو چندسازه‌ها از آزمون پراکنش اشعه ایکس استفاده می‌شود که طی آن پرتوی با طول موج (λ) در زوایای مختلف (2θ) به جسم تابانده می‌شود. با اندازه‌گیری میزان پراکنش اشعه تابانده شده، منحنی شدت پراکنش بر حسب زاویه (2θ) رسم می‌شود که در زوایای معینی قله‌هایی متناسب با فواصل بین لایه‌ای در منحنی مشاهده می‌شود.

با هم مخلوط و بعد به قیف تغذیه دستگاه اکسترودر در یک مرحله ریخته شد. برای هر ۱۲ تیمار، مخلوط‌سازی به طور یکسان انجام شد. مخلوط نانو چوب-پلاستیک به صورت یک مفتول خمیری شکل از روزنه اکسترودر خارج شد و درون یک حوضچه آب که در جلوی آن تعبیه شده، سرد شدند. برای ساخت نمونه‌های نهایی توسط دستگاه قالبگیری تزریقی ابتدا باید مخلوط نانو چوب-پلاستیک تولید شده را به گرانول تبدیل کرد. سپس برای این کار از دستگاه خردکن نیمه صنعتی 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.

فرایند تزریق و ساخت نمونه‌ها

ساخت نمونه‌های آزمایشی توسط دستگاه اکسترودر تک ماردون مجهز به سیستم قالبگیری فشاری (دستگاه تزریق) انجام شد. دمای دستگاه فوق ۱۸۰-۱۷۵ درجه سانتیگراد و سرعت تزریق آن ۵۰ 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 با چهار تکرار انجام شد. اندازه‌گیری مقاومت و مدول کششی طبق آیین‌نامه ASTM-D638 با استفاده از نمونه‌هایی از نوع دمبلی و با سرعت بارگذاری ۵ میلی‌متر بر دقیقه انجام شد.

نانوذرات می‌باشد. در این تحقیق آزمون اشعه X توسط دستگاه X-Ray Diffraction مدل D8-advanced ساخت شرکت Bruker آلمان واقع در مرکز تحقیقاتی انرژی اتمی انجام گردید. آزمون در زاویه تابش 2θ در دامنه ۱-۱۱ درجه انجام شد.

تجزیه و تحلیل آماری

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

نتایج

جدول ۳ خلاصه تجزیه واریانس مقاومت‌های مکانیکی و اثرهای مستقل و متقابل نوع ماده چوبی و درصد نانورس را در سطح ۱ و ۵ درصد نشان می‌دهد. همچنین مقایسه میانگین‌ها به روش دانکن نیز مورد بررسی قرار گرفته است.

با استفاده از قانون براگ ((Bragg's Law می‌توان این فواصل را محاسبه کرد:

$$d = n \lambda / (2 \sin \theta)$$

در این معادله θ زاویه تابش، λ طول موج پرتو X تابیده شده، d فاصله بین لایه‌ای خاک رس و n عددی صحیح بین ۱ تا ۳ است که با توجه به اینکه ساختار بلوری دارای چند نوع فاصله بین لایه‌ای است، به دستگاه داده می‌شود. با داخل شدن زنجیره‌های پلیمری به فواصل بین لایه‌ای، صفحات خاک رس از یکدیگر فاصله می‌گیرند. بنابراین با افزایش فاصله بین لایه‌ای قله منحنی مربوط به لایه‌های خاک رس به سمت 2θ های کمتر انتقال می‌یابد که نشانگر ورود زنجیره‌های پلیمری در فواصل بین لایه‌ای است. یکی از مهمترین عامل‌های مؤثر در رفتار رئولوژیکی و خواص فیزیکی و مکانیکی نانوجندسازهای پلیمری میزان Exfoliation (لایه لایه‌ای) و Intercalation (بین لایه‌ای) نانوذرات در ماتریس می‌باشد که با مطالعه طیف‌های بدست آمده می‌توان تأثیرات پراکنش و توزیع ذرات نانورس را در چندسازهای پلیمری بررسی کرد. ارتفاع و شکل پیک‌های حاصل تابعی از ساختار و درصد پراکنش

جدول ۳- خلاصه تجزیه واریانس مقاومت‌های مکانیکی و فیزیکی

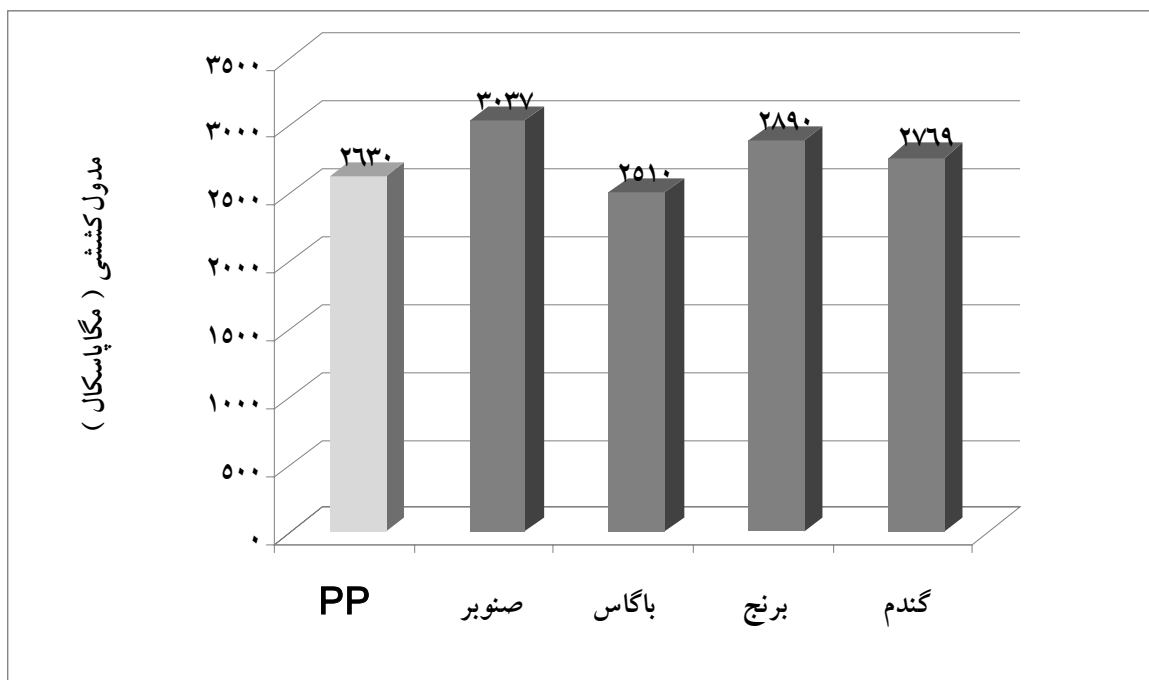
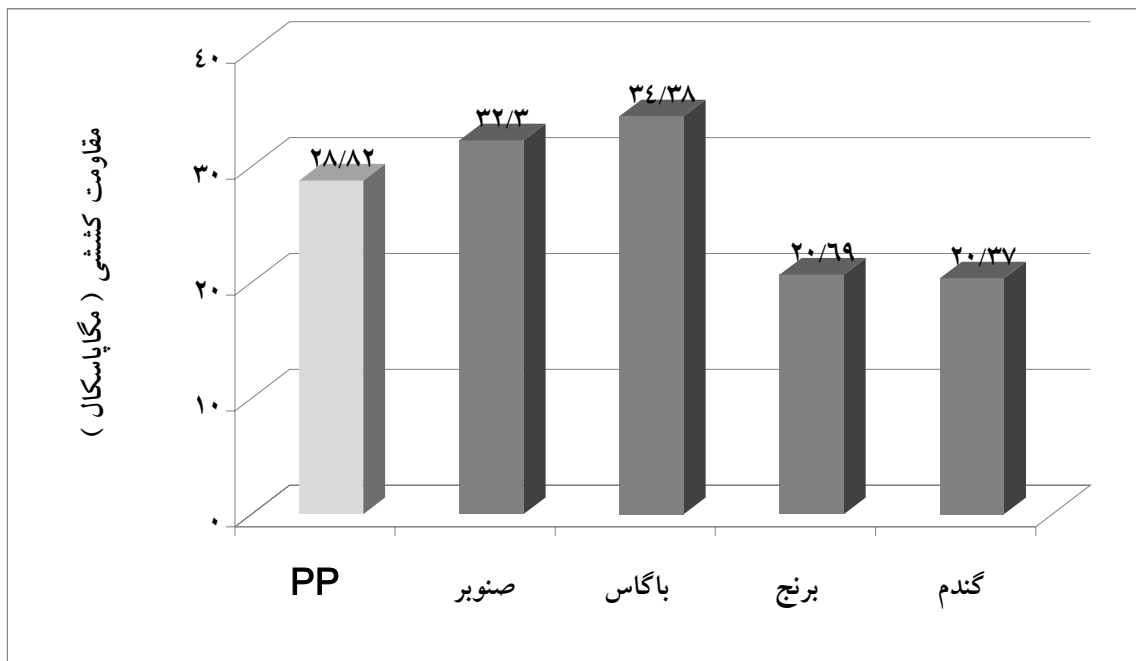
| منبع | مقاومت کششی | مقاومت خمشی | مدول کششی | مدول خمشی | مقاومت به ضربه |
|--|--------------------------|----------------------|-----------|-----------|----------------|
| نوع ماده چوبی | ***/۰۰۰ | ***/۰۰۰ | ***/۰۰۰ | ns۰/۱۱۸ | ***/۰۰۰ |
| درصد نانورس | ***/۰۰۰ | ***/۰۰۰ | ***/۰۰۰ | **/۰۱۲ | ***/۰۰۰ |
| اثر متقابل (نوع ماده چوبی *درصد نانورس) | ns۰/۳۷۷ | **/۰۱۵ | **/۰۴۳ | ns۰/۲۸۵ | ns۰/۱۱۲ |
| ** معنی‌دار در سطح ۱ درصد | * معنی‌دار در سطح ۵ درصد | ns معنی‌دار نمی‌باشد | | | |

خواص کششی

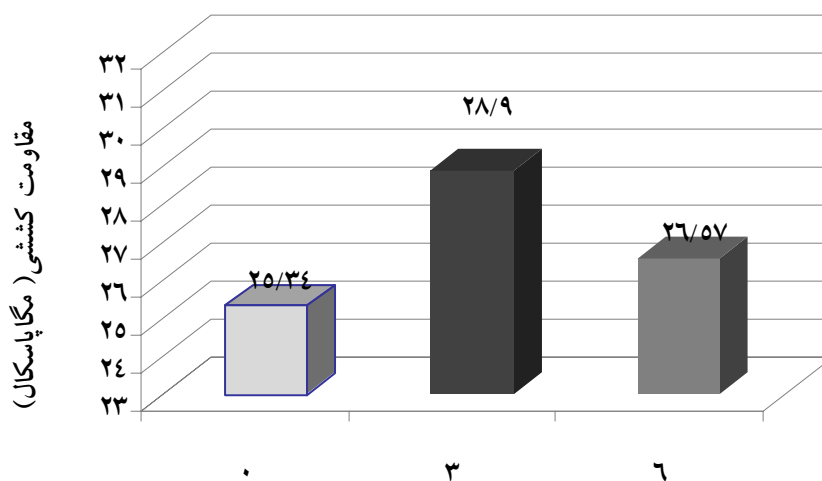
با توجه به جدول تجزیه واریانس مشخص شده که اثرهای مستقل نوع ماده لیگنوسلولزی و درصد نانورس بر مقاومت و مدول کششی در سطح ۱ درصد معنی‌دار می‌باشد. همان‌گونه که در شکل ۱ مشخص شده اثرهای مستقل نوع ماده لیگنوسلولزی در سطح ۱ درصد بر خواص کششی نانو چندسازه چوب پلاستیک معنی‌دار شده است. نتایج مقاومت کششی نشان داده است که استفاده از چوب صنوبر و باگاس سبب افزایش مقاومت کششی نسبت به ساقه برنج و گندم شده است. با مقایسه میانگین‌ها به روش دانکن نیز ملاحظه می‌شود که گونه باگاس در گروه برتر (a) قرار می‌گیرد. همچنین چوب صنوبر در گروه بعدی (b) قرار داشته که نسبت به تیمار شاهد دارای افزایش ۱۹/۲۹ و ۱۲/۰۷ درصدی به ترتیب بوده‌اند. گروه‌های بعدی شامل ساقه گندم و برنج بودند که به طور مشترک در گروه بعدی (c) قرار گرفته‌اند. نتایج مدول کششی نیز نشان داده است که استفاده از چوب صنوبر سبب افزایش مدول خمشی به میزان ۱۵/۴۷ درصد نسبت به تیمار شاهد بوده و در گروه‌بندی میانگین‌ها در گروه برتر (a) قرار می‌گیرد. ساقه برنج نیز در گروه بعدی (b) قرار داشته که دارای میزان مدول کششی بالاتری نسبت به ساقه گندم و باگاس بوده است. نتایج بدست آمده با بررسی‌های لی و همکاران (۲۰۰۸) در زمینه استفاده از آرد چوب صنوبر هم‌خوانی داشته آنها عنوان داشتند که با اضافه کردن نانورس، سازگارکننده و آرد چوب صنوبر،

پایداری حرارتی هیبریدها به‌طور چشمگیری افزایش یافته است. همچنین مدول و مقاومت کششی هیبریدها نسبت به هیبریدهای بدون آرد چوب صنوبر، افزایش داشته است. همان‌گونه که در شکل ۲ مشخص می‌باشد 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 مقاومت کششی نسبت به تیمار شاهد (بدون افزودن نانورس) و نانورس در سطح ۶ درصد شده است. با مقایسه میانگین‌ها به روش دانکن نیز ملاحظه می‌شود که در حالت استفاده از ۳ درصد نانورس مقاومت کششی در گروه برتر (a) قرار می‌گیرد. همچنین تیمار ۶ درصد نانورس (b) در گروه بعدی قرار داشته که نسبت به تیمار شاهد دارای افزایش ۱۴/۰۴ و ۸/۷ درصدی به ترتیب بوده‌اند.

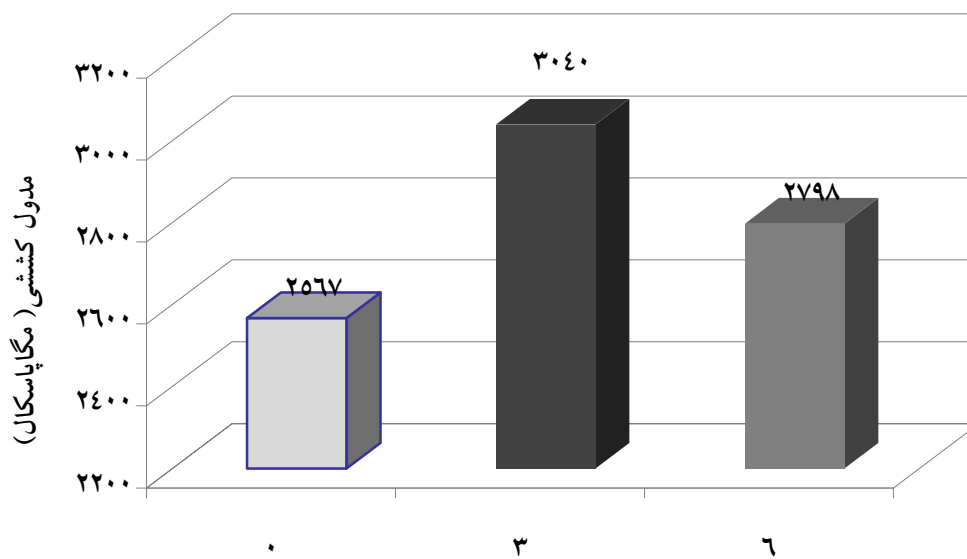
نتایج مدول کششی نیز نشان داده است که استفاده از ۳ درصد نانورس سبب افزایش مدول کششی نسبت به تیمار شاهد و نانورس در سطح ۶ درصد شده است. با مقایسه میانگین‌ها به روش دانکن نیز ملاحظه می‌شود که در حالت استفاده از ۳ درصد نانورس مدول کششی افزایش و در گروه برتر (a) قرار داشته، همچنین تیمار ۶ درصد نانورس (b) در گروه بعدی قرار گرفته که نسبت به تیمار شاهد دارای افزایش ۱۸/۴۲ و ۸/۶ درصدی به ترتیب بوده‌اند.



شکل ۲- اثر مستقل گونه چوبی بر مقاومت و مدول کششی نانو چندسازه چوب پلاستیک

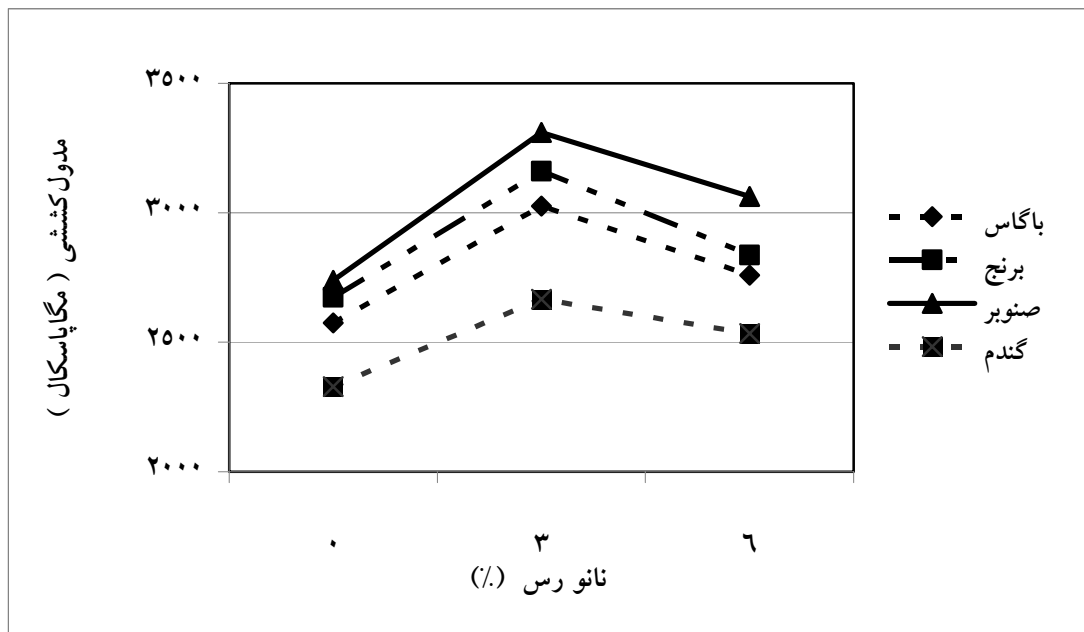


نانورس (%)



نانورس (%)

شکل ۳ - اثر مستقل درصد نانورس بر مقاومت و مدول کششی نانو چندسازه چوب پلاستیک



شکل ۴ - اثر متقابل گونه چوبی و درصد نانورس بر مدول کششی نانو چندسازه چوب پلاستیک

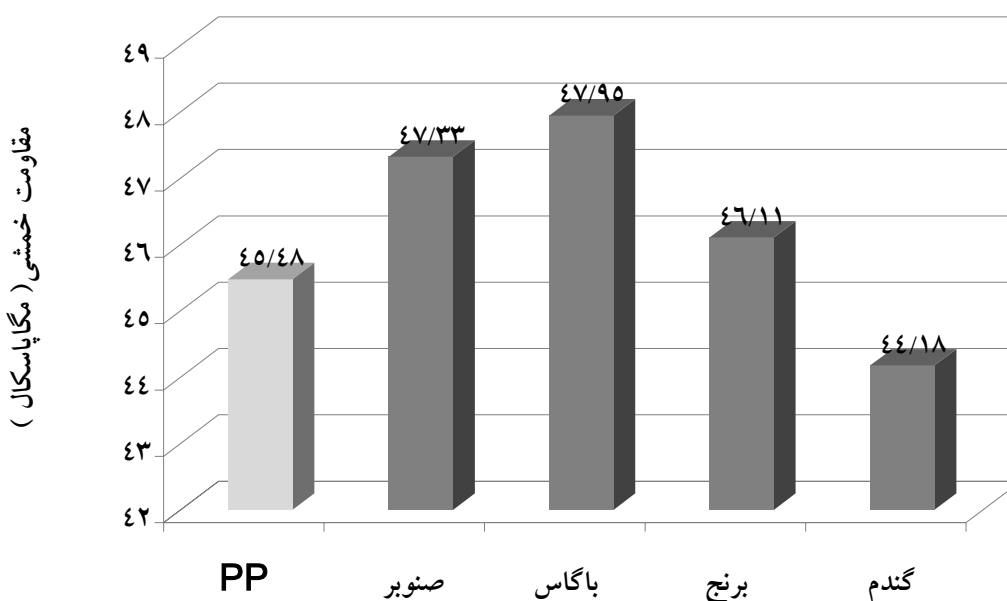
پُرکننده/تقویت‌کننده (مواد چوبی) عمل کرده و با بهبود چسبندگی بین آنها باعث افزایش مقاومت‌های فیزیکی و مکانیکی می‌شود (هریستوف و همکاران، ۲۰۰۴)، (مصطفی، حسن و رحمت، ۲۰۰۵). در عین حال نانورس، تمایل به جذب ماده جفت‌کننده دارد (یه و گوپتا، ۲۰۱۰). زمانی که میزان نانورس در ساختار چوب پلاستیک افزایش می‌یابد، مقادیر نانورس بیشتر، ماده جفت‌کننده بیشتری را به سمت خود می‌کشند و مانع از اتصال ماده جفت‌کننده با ذرات لیگنوسلولزی شده و این موضوع باعث کاهش مقاومت کششی می‌شود. از این رو می‌توان عنوان کرد که با اضافه کردن نانورس تا مقدار مشخص مقاومت کششی افزایش یافته اما با افزایش آن کاهش جزئی در مقاومت کششی دیده می‌شود.

مطابق با خلاصه جدول تجزیه واریانس اثر متقابل استفاده از مواد لیگنوسلولزی و درصد نانورس بر مدول کششی در سطح ۵ درصد معنی‌دار شده است. همان‌گونه که در شکل ۳ مشاهده می‌گردد، استفاده از چوب صنوبر با ۳ درصد نانورس باعث افزایش مدول کششی چندسازه شده که در گروه برتر (a) قرار می‌گیرد. گروه‌های بعدی شامل ساقه‌برنج با ۳ درصد نانورس (b)، چوب صنوبر با ۶ درصد نانورس (bc) و باگاس با ۳ درصد نانورس (c) در شبکه چندسازه چوب پلاستیک شده است. با افزایش میزان نانورس در چندسازه چوب پلاستیک ساخته شده از مواد اولیه باگاس و کاه‌گندم، مدول کششی کاهش می‌یابد. دلیل این موضوع می‌تواند مربوط به ویژگی جذب ماده جفت‌کننده (MAPP) توسط نانورس باشد (یه و گوپتا، ۲۰۱۰). همان‌طور که مشخص است ماده جفت‌کننده به صورت پلی بین ماده زمینه (پلیمر) و ماده

خواص خمشی

همان گونه که در شکل ۴ مشخص شده است اثرهای مستقل نوع ماده لیگنوسلولزی در سطح ۱ درصد بر مقاومت خمشی نانو چندسازه چوب پلاستیک معنی دار شده است. نتایج مقاومت خمشی نشان داده است که استفاده از ضایعات باگاس و چوب صنوبر سبب افزایش

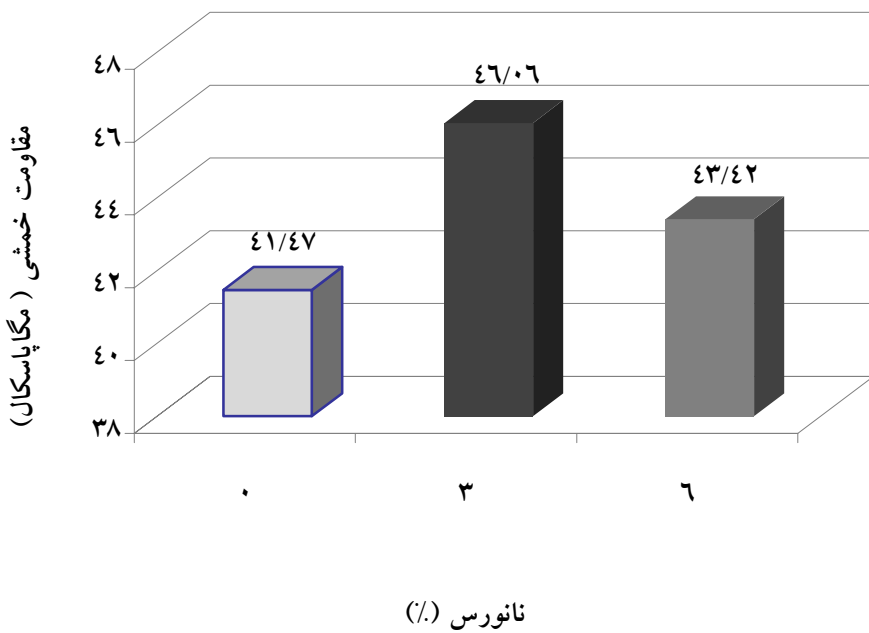
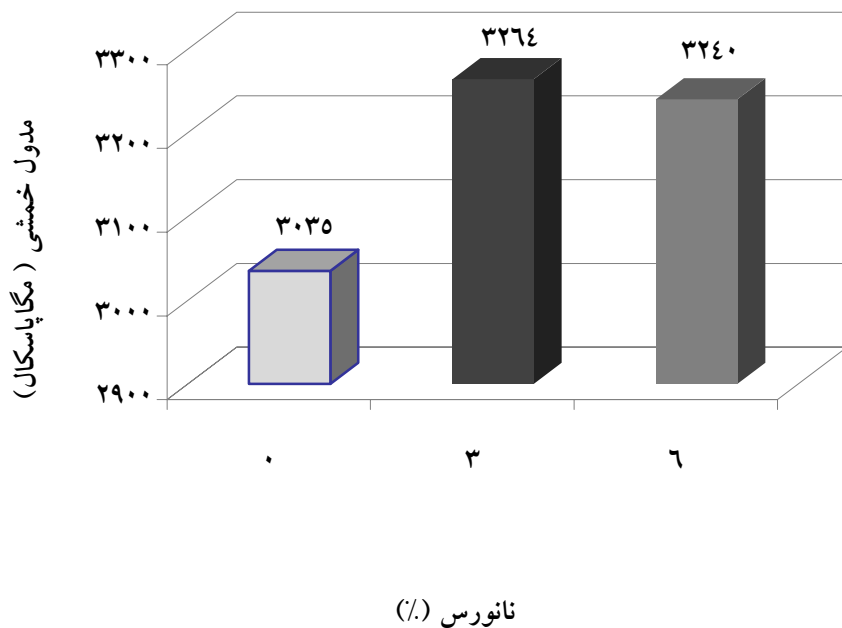
مقاومت خمشی نسبت به ساقه برنج و گندم شده است. با مقایسه میانگین ها به روش دانکن نیز ملاحظه می شود که باگاس و چوب صنوبر در گروه برتر (a) قرار می گیرد، که نسبت به تیمار شاهد دارای افزایش ۵/۴۳ و ۴/۰۶ درصدی به ترتیب بوده اند. همچنین گونه های ساقه برنج و گندم در گروه های بعدی (b) و (c) قرار گرفته اند.



شکل ۵ - اثر مستقل گونه چوبی بر مقاومت خمشی نانو چندسازه چوب پلاستیک

گروه بعدی قرار داشته که نسبت به تیمار شاهد دارای افزایش ۱۱/۰۶ و ۶/۰۸ درصدی به ترتیب بوده اند. نتایج مدول خمشی نیز نشان داده است که استفاده از ۳ درصد نانورس سبب افزایش مدول خمشی نسبت به تیمار شاهد و نانورس در سطح ۶ درصد شده است. با مقایسه میانگین ها به روش دانکن نیز ملاحظه می شود که در حالت استفاده از ۳ و ۶ درصد نانورس مدول خمشی افزایش و به طور مشترک در گروه برتر (a) قرار داشته اند، که نسبت به تیمار شاهد دارای افزایش ۷/۵۴ و ۰/۷۴ درصدی به ترتیب بوده اند.

همان گونه که از شکل ۵ مشخص می باشد اثرهای مستقل درصد نانورس در سطح ۱ و ۵ درصد بر خواص خمشی نانو چندسازه چوب پلاستیک معنی دار شده است. نتایج مقاومت خمشی نشان داده است که استفاده از ۳ درصد نانورس سبب افزایش مقاومت خمشی نسبت به تیمار شاهد و نانورس در سطح ۶ درصد می باشد. با مقایسه میانگین ها به روش دانکن نیز ملاحظه می شود که در حالت استفاده از ۳ درصد نانورس مقاومت خمشی در گروه برتر (a) قرار می گیرد. همچنین تیمار ۶ درصد نانورس (b) در



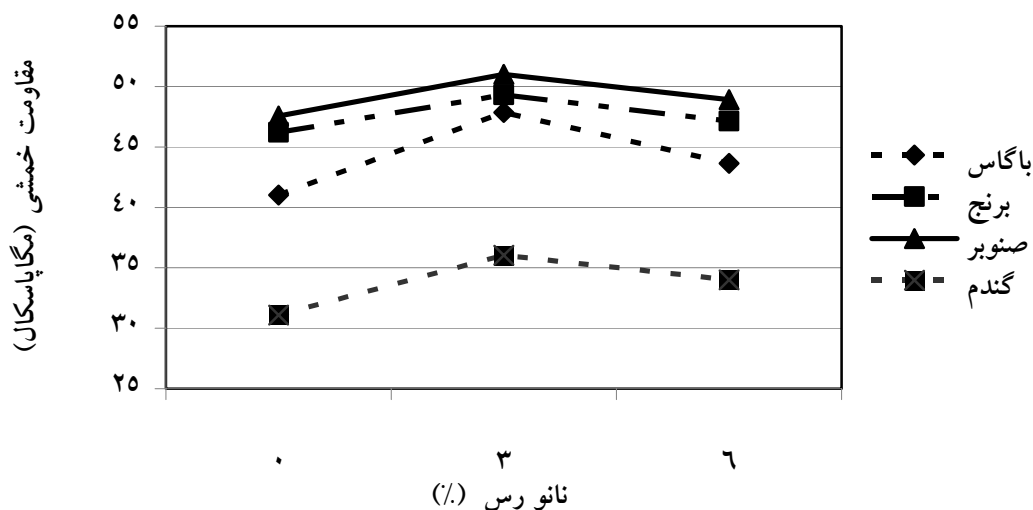
شکل ۶- اثر مستقل درصد نانورس بر مقاومت و مدول خمشی نانو چندسازه چوب پلاستیک

مقاومت خمشی در سطح ۵ درصد معنی دار شده است. همان گونه که در شکل ۶ مشاهده می گردد، استفاده از

مطابق با خلاصه جدول تجزیه واریانس اثر متقابل استفاده از مواد لیگنوسلولزی و درصد نانورس بر

سطحی زنجیره‌های آلی و ذرات نانورس و نیز جهت‌یافتگی لایه‌های سیلیکاتی و وجود سازگارکننده موجب افزایش مقاومت‌خمشی چندسازه در مقدار ۳ درصد شده است. هان و همکاران (۲۰۰۸) نیز به نتایج مشابهی دست یافتند، آنان عنوان کردند که افزایش مقاومت‌خمشی در چندسازه‌های حاوی نانورس با ضریب لاغری ذرات نانورس و تشکیل ساختار بین لایه‌ای مرتبط می‌باشد.

چوب صنوبر با ۳ درصد نانورس باعث افزایش مقاومت خمشی چندسازه شده که در گروه برتر (a) قرار می‌گیرد. گروه‌های بعدی شامل ساقه‌برنج با ۳ درصد نانورس (b)، چوب صنوبر با ۶ درصد نانورس (b) و باگاس با ۳ درصد نانورس (c) در شبکه چندسازه چوب پلاستیک می‌باشد. افزایش مقدار ذرات نانورس تا ۳ درصد باعث رفتار خمش بهتری چندسازه گردیده است. تشکیل ساختار بین لایه‌ای شکل ۱۰ در این نوع چندسازه به دلیل تأثیر بین

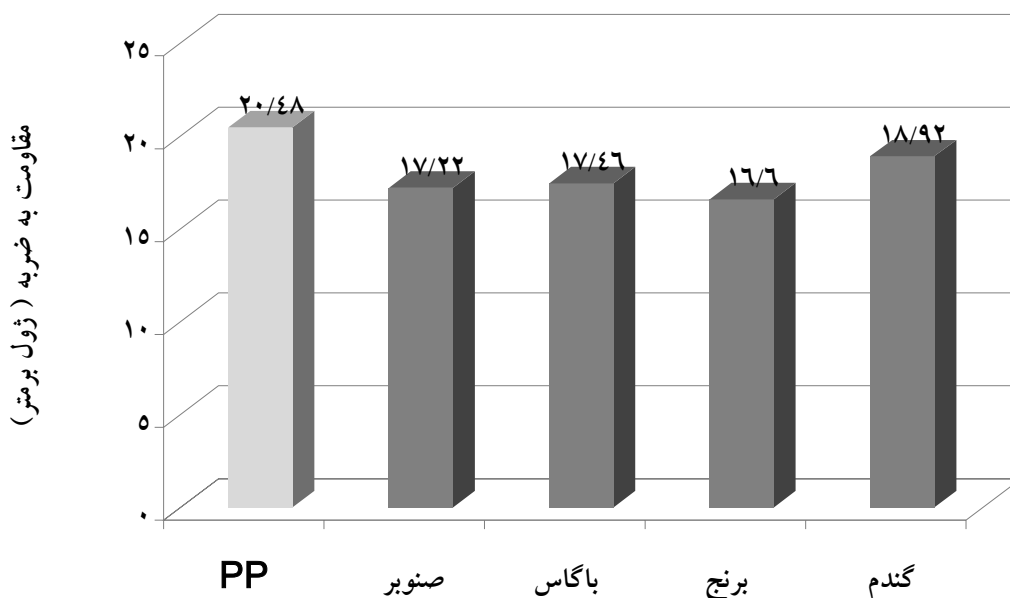


شکل ۷- اثر متقابل گونه چوبی و درصد نانورس بر مقاومت خمشی نانو چندسازه چوب پلاستیک

مقاومت به ضربه نسبت به ساقه برنج و چوب صنوبر شده است. با مقایسه میانگین‌ها به روش دانکن نیز ملاحظه می‌شود که ساقه‌گندم در گروه برتر (a) قرار می‌گیرد، که نسبت به تیمار شاهد دارای افزایش ۸/۲۴ درصدی بوده است. همچنین گونه‌های باگاس و چوب صنوبر در گروه بعدی (ab) قرار گرفته‌اند.

خواص ضربه‌ای

همان‌گونه که در شکل ۷ 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 گندم و باگاس سبب افزایش



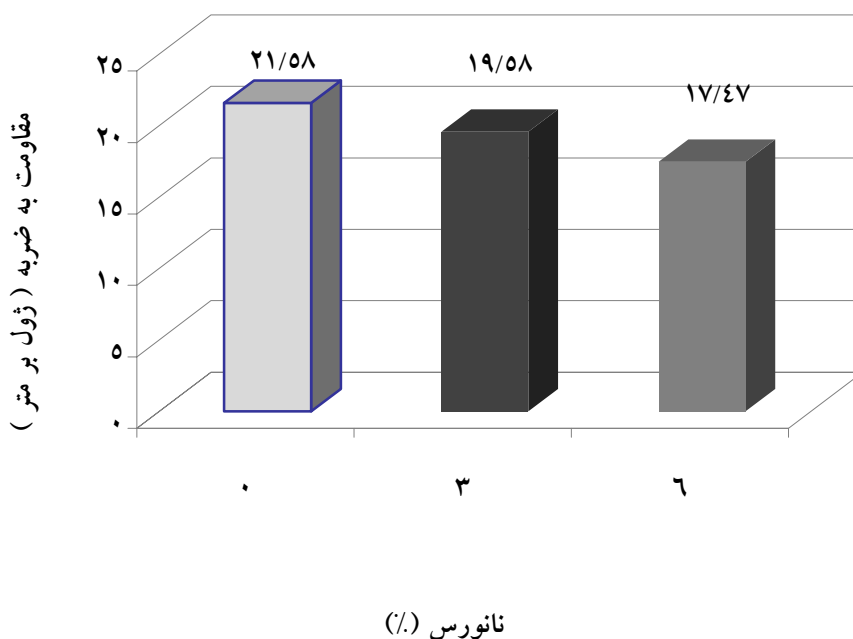
شکل ۸ - اثر مستقل گونه چوبی بر مقاومت به ضربه نانو چندسازه چوب پلاستیک

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. هریستوف و همکاران (۲۰۰۴) نیز به نتایج مشابهی دست یافتند، آنان عنوان کردند که افزایش ذرات نانورس باعث افزایش نقاط پرتنش در ماتریس نمونه‌ها می‌شود که عامل اصلی کاهش مقاومت به ضربه در نمونه‌های با میزان ذرات نانورس بیشتر است.

در شکل ۸ اثر مستقل درصد نانورس در سطح ۱ درصد بر خواص ضربه‌ای نانو چندسازه چوب پلاستیک معنی‌دار شده است. نتایج مقاومت به ضربه نشان داده است که استفاده از ۳ درصد نانورس سبب افزایش مقاومت به ضربه شده است. با مقایسه میانگین‌ها به روش دانکن نیز ملاحظه می‌شود که در حالت استفاده از ۳ درصد نانورس مقاومت به ضربه نسبت به ۶ درصد نانورس برتر بوده 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

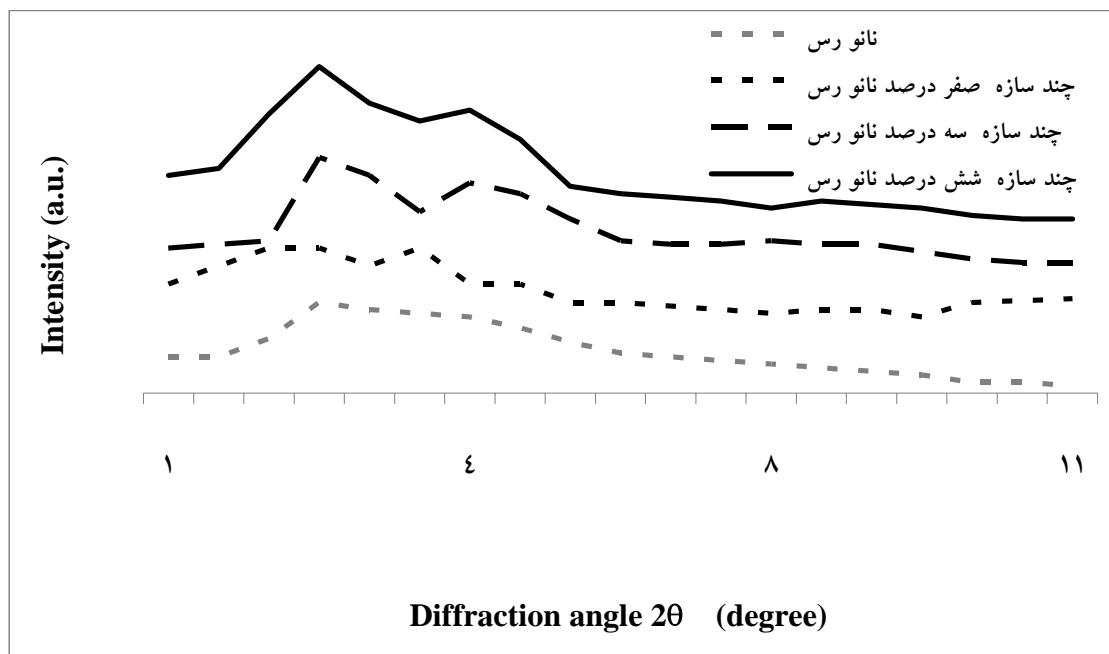


شکل ۹ - اثر مستقل درصد نانورس بر مقاومت به ضربه نانو چندسازه چوب پلاستیک

داشته و این موضوع نشان‌دهنده وجود پدیده بین لایه‌ای در نمونه‌های ساخته شده از ذرات نانورس است. در واقع فاصله بین لایه‌های سیلیکاتی ذرات نانورس به دلیل نفوذ زنجیره‌های پلیمری افزایش یافته ولی جدایی کامل ذرات نانورس صورت نگرفته است. ذرات نانورس پراکنده شده و می‌تواند دلیل مناسبی برای بهبود مدول‌های خمشی، کششی باشند. (Wang *et al.*, 2005) خصوصیات ریخت‌شناسی و مکانیکی - گرمایی کامپوزیت‌های تقویت شده با ذرات نانورس را مورد مطالعه قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که این پُرکننده‌ها به علت ساختار exfoliation (لایه لایه‌ای) موجب پراکنش بهتر ذرات در ماتریس پلیمری شده و در نهایت مدول کششی، مقاومت کششی و سختی کامپوزیت افزایش می‌یابد.

طیف پراش اشعه ایکس (XRD)

یکی از مهمترین عوامل مؤثر در رفتار رئولوژیکی و خواص فیزیکی و مکانیکی نانوجندسازه‌های پلیمری میزان Exfoliation (لایه لایه‌ای) و Intercalation (بین لایه‌ای) نانوذرات در ماتریس می‌باشد که با مطالعه طیف‌های بدست آمده می‌توان تأثیرهای پراکنش و توزیع ذرات نانورس را در چندسازه‌های پلیمری بررسی کرد. منحنی پراش اشعه ایکس نمونه‌های حاوی ۰، ۳ و ۶ درصد نانورس رسم شده است. همان‌گونه که در شکل ۹ مشخص می‌باشد، با افزایش میزان ذرات نانورس از ۰ به ۶ درصد فواصل میان لایه‌های سیلیکاتی افزایش یافته‌اند. با توجه به شکل منحنی‌های مربوط به سطوح ۳ و ۶ درصد نانورس در محدوده قبل از پیک نانورس، پیک



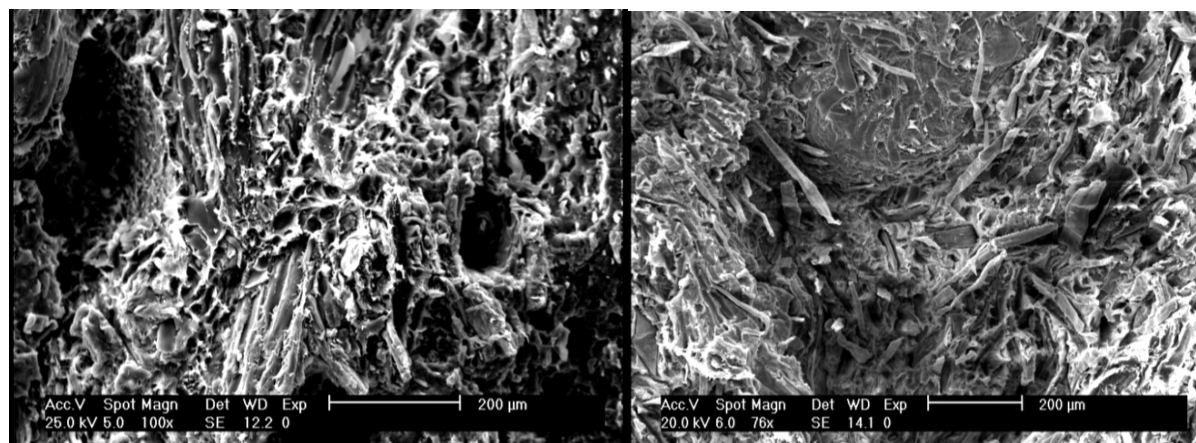
شکل ۱۰ - پراش اشعه ایکس در چندسازه ساخته شده در تیمارهای مختلف

جفت‌کننده اتصال مناسبی بین ماتریس (پلیمر) و ماده لیگنوسلولزی برقرار نکرده و باعث کاهش خواص کششی و خمشی می‌شود. برای مشاهده این امر با استفاده از میکروسکوپ الکترونی پویشی عکس‌هایی از سطح مقطع شکست نمونه کششی کاه‌برنج با میزان ۶ درصد و ۳ درصد بررسی گردید.

همان‌طور که در شکل ۱۰ مشاهده می‌شود، حضور حفره‌ها در سطح شکست نمونه حاوی ۶ درصد نانو نشان از اتصال ضعیف بین ماده لیگنوسلولزی و ماتریس پلیمری دارد. به طوری که در مقایسه با این تصویر سطح شکست نمونه حاوی ۳ درصد نانو را نشان می‌دهد که حفرات کمتر اتصال مناسب‌تر بین ماده زمینه و ماده لیگنوسلولزی است.

مطالعه‌های میکروسکوپ الکترونی پویشی (SEM)

بهبودی خواص مقاومتی چندسازه چوب پلاستیک ساخته شده با نانورس به همراه جفت‌کننده مالیکی با بررسی‌های میکروسکوپ الکترونی پویشی مورد تحقیق قرار گرفت. چندسازه‌های ساخته شده به همراه نانورس در چهار ماده لیگنوسلولزی و دو سطح نانورس در شکل ۹ مشاهده می‌شود. همان‌طور که در نتایج مربوط به مقاومت‌های کششی و خمشی مطرح شد، افزایش میزان نانو از ۳ به ۶ درصد کاهش خواص کششی و خمشی را به همراه داشت. دلیل آن نیز جذب ماده جفت‌کننده توسط نانورس مطرح شده، چون نانورس دارای ویژگی جذب ماده جفت‌کننده است، زمانی که از مقادیر زیادتر نانورس (۶ درصد) استفاده می‌شود با افزایش نانورس میزان جذب ماده جفت‌کننده نیز افزایش می‌یابد. در این حالت ماده



شکل ۱۱ - تصاویر میکروسکوپ الکترونی پوششی نمونه‌های کششی با بزرگنمایی ۲۰۰

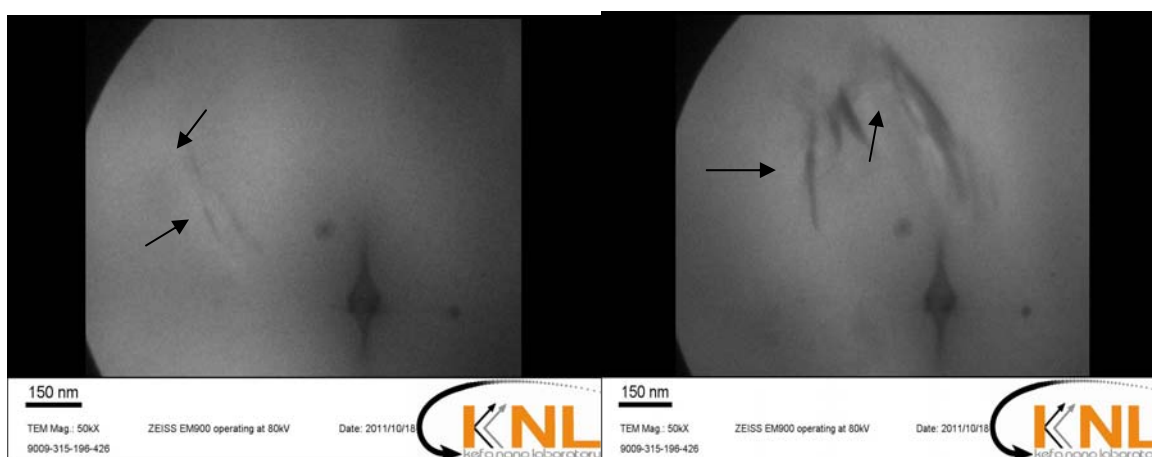
تصویر سمت راست نمونه حاوی ۲ درصد جفت‌کننده به‌مراه ۳ درصد نانورس

تصویر سمت چپ نمونه حاوی ۲ درصد جفت‌کننده به‌مراه ۶ درصد نانورس

لایه‌های نانورس و مناطق روشن‌تر مربوط به ماتریس پلیمر است. در تصویر سمت راست لایه‌ها هنوز به‌طور کامل از هم جدا نشده‌اند که سبب تشکیل ساختار بین لایه‌ای شده است. تصویر سمت چپ نشان‌دهنده جدایی نسبی لایه‌ها (لایه لایه‌ای) در زمان استفاده از ۳ درصد نانورس بوده که می‌تواند سبب تشکیل ساختار درون لایه‌ای باشد.

مطالعات میکروسکوپ الکترونی انتقالی (TEM)

به منظور مشاهده دقیق‌تر ساختار چندسازه چوب پلاستیک نانورس و تأیید نتایج آزمون اشعه ایکس از تصاویر میکروسکوپ انتقالی TEM استفاده گردید. شکل ۱۱ تصاویر چندسازه پلی‌پروپیلن یاف چوب حاوی ۳ و ۶ درصد نانورس را نشان می‌دهد. همان‌گونه که در تصاویر مشخص است، خطوط تاریک رشته‌ای مربوط به



شکل ۱۲ - تصاویر میکروسکوپ الکترونی انتقالی نمونه‌های چندسازه چوب پلاستیک با بزرگنمایی ۱۵۰ نانومتر

(تصویر سمت راست نمونه حاوی ۶ درصد نانورس / تصویر سمت چپ نمونه حاوی ۳ درصد نانورس)

بحث

کاهش خواص ضربه‌ای می‌باشند. به کمک عکسبرداری الکترونی پویشی (SEM) شواهد مربوط مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. حضور حفره‌ها در سطح شکست نمونه حاوی ۶ درصد ذرات نانورس نشان از اتصال ضعیف بین ماده لیگنوسلولزی و ماتریس پلیمری دارد. در مقایسه سطح شکست نمونه حاوی ۳ درصد ذرات نانورس با حفرات کمتر اتصال مناسب‌تر بین ماده زمینه و ماده لیگنوسلولزی را بوجود آورده است. همچنین به منظور مشاهده دقیق‌تر ساختار چندسازه چوب پلاستیک / نانورس از تصاویر میکروسکوپ انتقالی (TEM) استفاده گردید. تصاویر چندسازه پلی پروپیلن الیاف چوب حاوی ۳ و ۶ درصد نانورس نشان دادند که تشکیل ساختارهای بین لایه‌ای و درون لایه‌ای در چندسازه فوق قابل تشخیص است، به طوری که در زمان استفاده از ۳ درصد ذرات نانورس خواص بهتری مشاهده می‌گردد.

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., 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. Yoon, Q. Wu. 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. Preliminary study on the mechanical properties of polypropylene rice husk composites. *Symposium*

در این تحقیق جهت بهبود خواص فیزیکی و مکانیکی چندسازه چوب پلاستیک، از مواد لیگنوسلولزی (باگاس ساقه برنج، گندم و چوب صنوبر) به عنوان مواد اولیه تقویت کننده استفاده شده است. همچنین اثر مقدار نانورس در سطوح مختلف (۳ و ۶ درصد) بر عملکرد چندسازه چوب پلاستیک مورد توجه قرار گرفت. نتایج مقاومت کششی نشان داده است که استفاده از چوب صنوبر و باگاس سبب افزایش مقاومت کششی نسبت به ساقه برنج و گندم شده است. نتایج مدول کششی نیز نشان داده است که استفاده از چوب صنوبر سبب افزایش مدول خمشی نسبت به تیمار شاهد شده و ساقه برنج نیز در گروه بعدی قرار گرفته که دارای میزان مدول کششی بالاتری نسبت ساقه گندم و باگاس بوده است. نتایج مقاومت خمشی نشان داده است که استفاده از باگاس و چوب صنوبر سبب افزایش مقاومت نسبت به ساقه برنج و گندم شده 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. به طور کلی 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 مدول کششی و خمشی نسبت به ۶ درصد ذرات نانورس شده است. همچنین نتایج نشان داده است که 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

- 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.
- polimer kebangsaan ke-v hotel residwncce*. 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.

Comparing four lignocellulosic materials in the properties of wood plastics/ nanoclay composites

Nourbakhsh, A.*

*- Corresponding author, Associate Professor, Wood and Paper Science Dept. Research Institute of Forests and Rangelands. Email: nourbakhsh_amir@yahoo.com

Received: Oct., 2011

Accepted: March, 2012

Abstract

To improve the mechanical properties of wood plastics composites, four lignocellulosic materials (bagasse, rice straw, wheat straw and poplar wood powder) was used as the reinforcing material. The amount of nano-clay at different levels (0, 3 and 6%) were examined on the performance of wood plastic composites. Tensile, flexural and impact properties were measured in accordance with ASTM standard test methods. Scanning electron microscope imaging (SEM) and transmission electron microscope imaging (TEM) were performed to interpret the results. The application of bagasse and poplar wood powder compared with wheat and rice straws increased the strength of wood plastics composites. Using 3% nanoclay particles increased the strength properties to the maximum values. Imaging the morphology of nanoclay by X-ray diffraction and electron microscopy showed the distribution of nanoclay particles in polymer structure. With increasing the amount of nanoclay to 3%, the distance between layers increased.

Keywords: Composite, lignocellulosic materials, nano-clay, strength properties, SEM and TEM