

تأثیر استفاده از پوست تخم‌مرغ و نانو ذرات اکسید روی بر خواص فیزیکی و مکانیکی چندسازه چوب پلاستیک

محمد مددی^{۱*}، حسین رنگ‌آور^۲ و امیر نوربخش^۳

۱- نویسنده مسئول، دانشجوی کارشناسی ارشد، صنایع چوب و کاغذ، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی، تهران

پست الکترونیک: a.madani30@yahoo.com

۲- دانشیار، گروه صنایع چوب و کاغذ، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی، تهران

۳- دانشیار، بخش تحقیقات علوم چوب و فرآورده های آن، مؤسسه تحقیقات جنگل ها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

تاریخ پذیرش: اسفند ۱۳۹۴

تاریخ دریافت: مرداد ۱۳۹۴

چکیده

در این تحقیق اثر استفاده از پودر پوست تخم‌مرغ و نانو ذرات اکسید روی بر خواص فیزیکی و مکانیکی چندسازه پلی‌پروپیلن-آرد چوب بررسی شد. برای این منظور، آرد چوب و پلی‌پروپیلن با نسبت وزنی ۶۰ به ۴۰ درصد با یکدیگر مخلوط شدند. مقدار پودر پوست تخم‌مرغ در سه سطح (۰، ۵ و ۱۰ درصد) و مقدار نانو اکسید روی در چهار سطح (۰، ۱/۵، ۳ و ۵ درصد) به‌عنوان عوامل متغیر این تحقیق در نظر گرفته شد. خواص فیزیکی و مکانیکی تخته‌ها شامل جذب آب و واکنش‌پذیری ضخامت پس از ۲ و ۲۴ ساعت غوطه‌وری در آب و مقاومت خمشی طبق استاندارد DIN-EN 310-2006 و مقاومت کششی نمونه‌ها با استاندارد ASTM D1037 اندازه‌گیری شدند. برای تفسیر بهتر نتایج، عکس‌برداری الکترونی بومیشی (SEM) انجام شد. 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) بررسی گردید. نتایج نشان داد که افزایش نسبت اختلاط پوست تخم‌مرغ با پودر چوب باعث کاهش واکنش‌پذیری ضخامت و جذب آب پس از ۲ و ۲۴ ساعت شد. البته افزایش نسبت اختلاط پوست تخم‌مرغ به پودر چوب مقاومت‌های مکانیکی چندسازه را کاهش داد. به‌طوری‌که با بررسی نتایج تأثیر ذرات نانو اکسید روی مشخص گردید که استفاده از ۱/۵ درصد نانو اکسید روی سبب بهبود خواص فیزیکی و مکانیکی شد.

واژه‌های کلیدی: پلی‌پروپیلن، پوست تخم‌مرغ، چندسازه، نانو اکسید روی.

مقدمه

استفاده مانند تالک، میکا، خاک رس، کربنات کلسیم، الیاف کربن و الیاف شیشه‌ای می‌باشند. ترکیب و یا تعویض جزء معدنی با مواد لیگنوسلولزی از نظر پایداری محیط زیست بسیار مفید خواهد بود. دلایل منطقی در مورد استفاده از مواد لیگنوسلولزی یک به‌عنوان پرکننده و تقویت‌کننده

پلی‌پروپیلن به‌عنوان یک پلیمر گرمانرم به‌طور گسترده‌ای در صنعت به‌کار می‌رود و معمولاً با ذرات معدنی و یا الیاف با هدف بهبود خواص مکانیکی آن و کاهش هزینه‌ها ترکیب می‌شود (Vaidya & Chawla, 2008). مواد معدنی مورد

می‌آید. محصول پوسته تخم مرغ حدود ۱۱٪ از وزن کل (حدود ۶۰ گرم) تخم مرغ است (Stadelman, 2000). مقدار دانسیته به دست آمده از پوسته تخم مرغ با استفاده از استاندارد ASTM 679، 0.4236 g/cm^3 است. با توجه به داده‌های آماری FAO در سال ۲۰۱۰، به‌تنهایی ۶/۴ میلیون تن از پوسته تخم مرغ در سراسر جهان در محل‌های دفن زباله دور انداخته شده است. طبق آمار وزارت جهاد کشاورزی و معاونت برنامه‌ریزی و اقتصادی مرکز فناوری اطلاعات و ارتباطات ایران، میزان تولید تخم مرغ از سال ۸۷ تا ۹۲ در جدول ۱ گزارش شده است که با توجه به این آمار و با توجه به تحقیق Stadelman (۲۰۰۰) که محصول پوسته تخم مرغ حدود ۱۱٪ از وزن تخم مرغ است می‌توان آمار تقریبی تولید پوست تخم مرغ را به دست آورد (جدول ۱).

چندسازه‌های چوب پلاستیک متکی به خواص ذاتی پرسود شامل چگالی کم، هزینه کم، مقاومت مطلوب، منبع تجدیدپذیر و پایدار، غیر سمی، سختی کم، مصرف انرژی پایین و قابلیت بازیافت است (Ku et al., 2011). کاربردهای بالقوه این چندسازه‌های سازگار با محیط‌زیست شامل خودروسازی، ساختمان‌سازی و صنعت مبلمان است (Bledzki et al., 2005). پوسته تخم مرغ به‌طور معمول از مواد سرامیکی با ترکیب شیمیایی (از لحاظ وزنی) شامل: کربنات کلسیم (۹۴٪)، کربنات منیزیم (۱٪)، فسفات کلسیم (۱٪) و ماده آلی (۴٪) است. این باعث می‌شود زباله پوست تخم مرغ یک منبع عالی زیستی معدنی از کربنات کلسیم باشد. قابل ذکر است که پوسته تخم مرغ از فراوری مواد غذایی و شکستن تخم مرغ و صنایع جوجه‌کشی به‌دست

جدول ۱- میزان تولید تخم مرغ و پوست تخم مرغ از سال ۸۷-۹۲ (واحد: هزار تن)

شرح سال	۸۷	۸۸	۸۹	۹۰	۹۱	۹۲
میزان تولید تخم مرغ	۷۲۷/۲	۷۵۱/۵	۷۶۶/۷	۷۰۰/۳	۹۱۲/۷	۸۹۳/۴
برآورد میزان تولید پوست تخم مرغ	۷۹	۸۲	۸۴	۷۷	۱۰۰	۹۸

دنیاست که دارای خصوصیات منحصربه‌فرد با کاربردهایی در تمام زمینه‌های علم و فناوری است؛ همین کاربردهای وسیع فناوری نانو که از آن به‌عنوان ویژگی بین‌رشته‌ای بودن فناوری نانو یاد می‌شود، عامل مهمی در فراگیر شدن این پدیده جدید است.

در مورد استفاده از پوست تخم مرغ در ترکیب با پلیمرهای مختلف و همچنین استفاده از نانو مواد مختلف در صنایع چوب، تحقیقاتی انجام شده است که می‌توان به موارد زیر اشاره کرد.

Kumar و همکاران (۲۰۱۴) خواص مکانیکی، حرارتی و مورفولوژیکی کامپوزیت اصلاح شده بیوفیلر-پلی پروپیلن را بررسی کردند. نتایج آنان نشان داد که پوست تخم مرغ به‌عنوان پرکننده منجر به بهبود برخی خواص مکانیکی

استفاده از پوست تخم مرغ در ساخت فراورده‌های چندسازه چوبی باعث استفاده بهینه از پوست تخم مرغ می‌شود. استفاده از منابع لیگنوسلولزی از قبیل ساقه گندم، ساقه برنج، ساقه ذرت و ... که به‌طور گسترده‌ای در چندسازه‌ها استفاده می‌شود مشکلات زیادی از قبیل عدم کافی بودن آن در کل سال (فصلی بودن)، مشکل در فراوری آن برای خرد کردن و بسته‌بندی و تیمار شیمیایی آن، دارا بودن مقدار سیلیس زیاد که همه این‌ها هزینه زیادی نیز در پی دارد. استفاده از پوست تخم مرغ علاوه بر موجود بودن آن در صنایع جوجه‌کشی و صنایع مواد غذایی مانند شیرینی‌پزی‌ها در کل سال یافت می‌شود و فراوری آن بسیار آسان است و مشکلات استفاده از منابع لیگنوسلولزی را ایجاد نمی‌کند. از طرف دیگر، فناوری نانو یکی از مدرن‌ترین فناوری‌های روز

کامپوزیت مانند مدول کششی، مدول خمشی و مقاومت به ضربه گردید، درحالی که استحکام کششی کاهش یافت.

liang و همکاران (۲۰۱۰) تأثیر پودر زباله پوست تخم مرغ را بر ویژگی های احتراق مواد بر پایه چوب پنبه مورد بررسی قرار دادند. نتایج آنان نشان داد که میزان بالاتر پودر پوسته تخم مرغ (۳۰٪ وزنی کامپوزیت) و اندازه ذرات بزرگتر (مش ۵۰-۱۰۰) برای خواص کندسوز کنندگی آتش نمونه ها مطلوب بود. مقدار درصد وزنی بالاتر پودر پوسته تخم مرغ منجر به طولانی شدن زمان جرقه زنی در آتش و میزان تولید کمتر مونوکسید کربن شد. این مطالعه نشان داد که پودر زباله پوسته تخم مرغ به طور قابل توجهی آتش سوزی در مواد را بر پایه چوب پنبه به تأخیر می اندازد. Clausen (۲۰۰۷) نقش نانو تکنولوژی را در صنعت حفاظت چوب مورد مطالعه قرار داد و نتیجه گرفت که نانو ذرات نقره، روی و مس قابلیت پراکنش بالا و ویسکوزیته پایین دارند که امکان توزیع یکنواخت را می دهد. نانو مواد به علت داشتن ذرات بسیار ریز و قابلیت پراکنش بالا ممکن است باعث بهبود نفوذ مواد حفاظتی در گونه های چوبی تجاری و تیمارپذیری چوب های سخت اشباع که دارای ارزش تجاری پایینی هستند، شوند. همچنین سبب استحکام روکش ها در کاربردهای بالای سطح زمین می شوند و قابلیت آبخوبی نیز در اثر تیمار با نانو مواد کاهش می یابد.

Weichelt و همکاران (۲۰۰۹) نانوکامپوزیت بر پایه اکسید روی را برای پوشش چوب در کاربردهای فضای باز مورد بررسی قرار دادند، آنان به این نتیجه رسیدند که نانو کامپوزیت های بر پایه اکسید روی که برای پوشش چوب در برابر اشعه ماوراءبنفش هستند ثبات ابعادی آنها افزایش یافته و خواص نوری آن بهبود یافته است. همچنین اکسید روی علاوه بر جلوگیری از ورقه شدن پوشش سطح چوب در مقابل نور ماوراءبنفش از رطوبت نیز محافظت می کند.

Zhao و همکاران (۲۰۰۶) تأثیر نانو اکسید روی را بر رفتار تخریب نوری و رفتار کششی نانو کامپوزیت پلی پروپیلن مورد بررسی قرار دادند. نتایج حاصل از این

تحقیق نشان داد که اختلاط نانو ذرات اکسید روی در ماتریس پلی پروپیلن میزان تخریب نوری را به طور قابل توجهی کاهش می دهد. این امر به دلیل اثرات پوششی فوق العاده نانو ذرات اکسید روی در مقابل نور ماوراءبنفش است. همچنین تابش ماوراءبنفش باعث افت قابل توجهی در شکل پذیری (انعطاف پذیری) کامپوزیت پلی پروپیلن خالص بدون نانو شد. به طوری که با اختلاط نانو ذرات اکسید روی، انعطاف پذیری زیاد شد، از این رو استحکام کششی تا حدی جبران شد. همچنین مشاهده شد که ترکهای سطحی توسط تخریب نوری در کامپوزیت بدون نانو ایجاد شد و اندازه گیری مشخصات سطح نشان می دهد که شدت ترکهای سطحی به طور قابل توجهی در نانو کامپوزیت اکسید روی و پلی پروپیلن کاهش یافت.

Salla و همکاران (۲۰۱۲) مقاومت سطوح چوبی در برابر اشعه ماوراءبنفش با نانو اکسید روی مخلوط شده با پلی پروپیلن پیوند خورده با انیدر مالئیک (MAPP) و همچنین ثبات رنگ سطوح چوبی از نانو اکسید روی مخلوط شده با پلی اورتان به عنوان پوشش شفاف در محیط بیرونی را نیز مورد ارزیابی قرار دادند، آنان نتیجه گرفتند که اختلاط نانو ذرات اکسید روی در پوشش پلی اورتان ثبات رنگ را افزایش می دهد ولی نمونه های تیمار شده و تیمار نشده با نانوذرات اکسید روی در MAPP به طور قابل توجهی منجر به تخریب پلیمرهای چوبی در اثر تابش نور ماوراءبنفش که منجر به تغییرات رنگ در سطوح چوبی می شود.

مواد و روش ها

در این پژوهش از پودر پلی پروپیلن (pp) با شاخص جریان مذاب ۲۵ gr/10 min و چگالی 0.9 g/cm^3 محصول پتروشیمی اراک به عنوان ماده زمینه پلیمری استفاده شد.

نانو اکسید روی مورد استفاده در این تحقیق از شرکت نانو زاک محصول ایران بود که مشخصات آن در جدول ۲ آورده شده است (جدول ۲).

جدول ۲- مشخصات نانو اکسید روی مورد استفاده

اندازه ذرات (نانومتر)	pH محصول	شکل ظاهری	وزن مخصوص (gr/cm ³)	سطح ویژه (gr/cm ²)	درجه خلوص (%)
۷۰-۵۰	قلیایی	پودر سفیدرنگ	۰/۴۵	۲۰۰	۹۹/۹۰

در مقایسه با پودر چوب و پلی پروپیلن است.



شکل ۱- تفاوت حجمی بین پودر پوست تخم مرغ، پودر پلی پروپیلن و پودر چوب

پودر چوب مورد استفاده از گونه راش به صورت خاکاره از کارخانه میل سازی با محدوده مش ۴۰-۸۰ و پوست تخم مرغ از شیرینی پزی واقع در شهر اراک تهیه شد. از مالتیک انیدرید بیوند خورده با پلی پروپیلن ساخت شرکت کیمیا جاوید با شاخص جریان مذاب ۱۰ gr/1۰ min که به میزان ۲ درصد وزن کل چندسازه در تمامی نمونه ها به عنوان عامل سازگارکننده برای ایجاد سازگاری و اتصال بیشتر بین دو مرحله ذرات چوب (بخش قطبی) و پلیمر زمینه (بخش غیر قطبی) استفاده شد.

عوامل متغیر در نظر گرفته شده در این بررسی شامل نسبت اختلاط پوست تخم مرغ به پودر چوب در سه سطح صفر، ۵ و ۱۰ درصد نسبت به جرم کل تخته و مقدار نانو اکسید روی در چهار سطح صفر، ۱/۵، ۳ و ۵ درصد نسبت به جرم اختلاط پوست تخم مرغ و پودر چوب بود.

تفاوت حجمی بین سه ماده در نسبت های وزنی یکسان

شکل ۱ تفاوت حجمی بین سه ماده پلی پروپیلن، پودر چوب و پوست تخم مرغ را در نسبت های وزنی یکسان (۱۰ گرم) و اندازه ذرات یکسان (مش ۴۰-۸۰) نشان می دهد. همان طور که ملاحظه می شود پودر چوب از لحاظ حجمی ۲ برابر پودر پلی پروپیلن و پودر PP در حدود ۳ برابر حجم پوست تخم مرغ و پودر چوب ۶ برابر حجم پوست تخم مرغ است و این نشان دهنده دانسیته زیاد پودر پوست تخم مرغ^۱

جدا کردن غشاء داخلی از پوست تخم مرغ برای اینکه تعامل و ارتباط قوی بین پوست تخم مرغ و اجزاء چندسازه چوب پلاستیک ایجاد شود لازم است غشاء داخلی از پوست تخم مرغ جدا شود، برای این کار پوست تخم مرغ جمع آوری شده به مدت ۱۰ روز در هوای آزاد قرار داده شد تا خشک شدن اولیه پوست ها انجام شود. سپس پوست تخم مرغ ها را آسیاب کرده و توسط مش ۴۰ به ۸۰ جدا گردید و با استفاده از فشار باد ملایم توسط پمپ باد بر روی پوست تخم مرغ ها، غشای داخلی پوست ها که دارای وزن سبکی هستند به راحتی از پوست ها جدا شدند.

۱- دانسیته پودر پوست تخم مرغ $1/30 \text{ g/cm}^3$ ، دانسیته پودر چوب^۳ $0/25 \text{ g/cm}^3$ ، دانسیته پودر پلی پروپیلن $0/5 \text{ g/cm}^3$. (لازم به ذکر است که دانسیته گفته شده تقریبی است و توسط بشرهای نشان داده شده در شکل ۱ اندازه گیری شده است.)

روش ساخت

خاکاره جمع آوری شده توسط الک‌های با مش ۴۰ به ۸۰ جدا شدند. هر دو ماده طبیعی (پوست تخم مرغ و بودر چوب) در یک آون آزمایشگاهی، آون با دمای 3 ± 103 درجه سانتی‌گراد تا رطوبت تقریبی ۳ درصد خشک شده و به منظور جلوگیری از جذب رطوبت محیط، در داخل کیسه‌های ضخیم پلاستیکی قرار داده شدند. مواد وزن شده بر اساس میزان درصدشان در هر اختلاط به صورت دستی با یکدیگر مخلوط شدند. سپس مخلوط حاصل در داخل قالب فلزی به ضخامت اسمی ۱ سانتیمتر و ابعاد 35×35 سانتیمتر ریخته شد. بدین صورت یک مخلوط آماده پرس گرم شد. پرس گرم آزمایشگاهی با قطر پیستون ۲۵ سانتی‌متر و ابعاد مفید صفحات پرس 50×50 سانتی‌متر مورد استفاده قرار گرفت. کیک تشکیل شده به مدت ۳۰ ثانیه پیش پرس شده و بعد به وسیله پرس گرم هیدرولیکی با شرایط دمایی 170 درجه سانتی‌گراد و فشار ۳۰ کیلوگرم بر سانتیمترمربع، به مدت ۲۰ دقیقه تحت فشار قرار گرفت. پس از اتمام زمان پرس گرم، تخته‌ها به مدت ۵ دقیقه در داخل پرس سرد قرار داده شدند. تخته‌ها پس از رسیدن به رطوبت تعادل با محیط، به وسیله دستگاه اره گرد، دوربری شده و نمونه‌های آزمونی برای اندازه‌گیری خواص فیزیکی و مکانیکی تهیه شدند.

اندازه‌گیری خواص فیزیکی و مکانیکی

نمونه‌های آزمونی مورد نیاز برای اندازه‌گیری آزمون خمش سه نقطه‌ای (محاسبه مقاومت خمشی) مطابق با استاندارد DIN-EN 310-2006 و مقاومت کششی مطابق با استاندارد ASTM D1037 و با دستگاه sanaf STT-5T و آزمون واکنشیدگی ضخامت و جذب آب ۲ و ۲۴ ساعت مطابق با استاندارد DIN-EN 317-2006 انجام شد. از آنجایی که روش ساخت تخته‌ها به صورت مسطح و با استفاده از پرس بود، از این رو آزمون مقاومت به ضربه اندازه‌گیری نشد و اگر با استفاده از دستگاه اکسترودر این

کار انجام می‌شد نمونه‌های آزمون ضربه از طریق دستگاه تزریق به دست می‌آمد.

ریخت‌شناسی چندسازه‌ها

ریخت‌شناسی چندسازه‌های تولید شده با میکروسکوپ الکترونی پویشی مدل (SEM, Model EM-3200, KYKY, china) بررسی شد. برای این کار سطح شکست کششی نمونه‌ها با لایه نازکی از طلا پوشش داده شد تا ضمن برخورد الکترون‌ها با سطح نمونه، بار ساکن روی آن جمع نشود.

طیف‌سنجی مادون قرمز (FTIR)

آزمون طیف‌سنجی مادون قرمز توسط دستگاه FT-IR (Fourier Transform Infrared Spectroscopy) مدل galaxy serirs ftir 5000 ساخت شرکت Bruker آلمان موجود در آزمایشگاه دانشکده شیمی دانشگاه اراک بر روی نمونه نانو اکسید روی انجام شد. آزمون با دقت اندازه‌گیری طول موج 1 cm^{-1} و محدوده طیفی $4000-400$ انجام شد.

روش آماری

در این بررسی با توجه به ترکیب مواد و سطوح مختلف از آزمون فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی استفاده گردید. از آزمون چند دامنه‌ای دانکن (Duncans) برای گروه‌بندی میانگین‌ها استفاده شد.

نتایج

تجزیه واریانس اثر مستقل و متقابل عوامل متغیر بر خواص فیزیکی و مکانیکی تخته‌ها در جدول ۳ آورده شده است.

جدول ۳- خلاصه تجزیه واریانس آزمون مقاومت‌های مکانیکی و فیزیکی

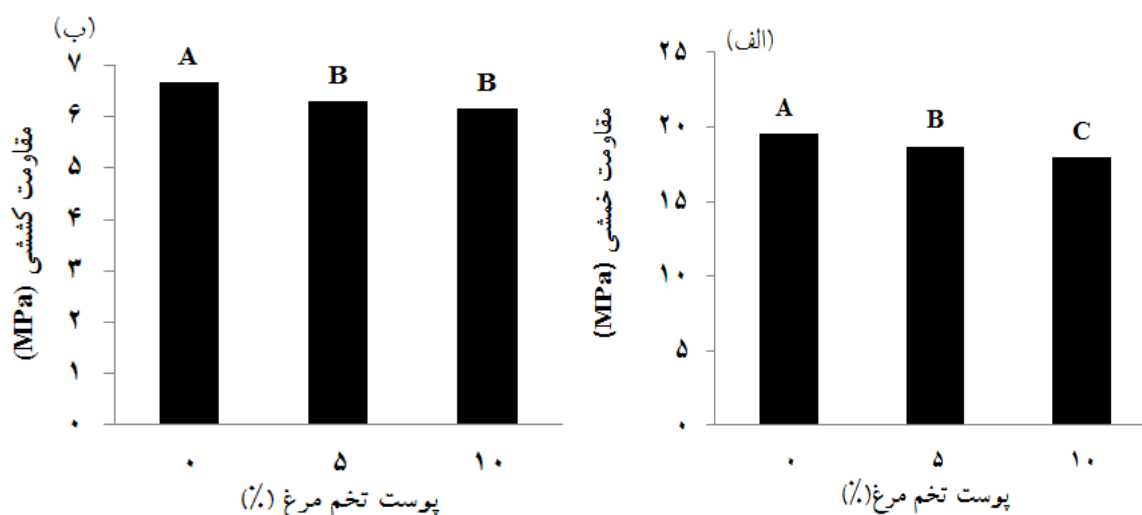
منابع متغیر	مقاومت خمشی	مقاومت کششی	واکسیدگی ضخامت ۲ ساعت	واکسیدگی ضخامت ۲۴ ساعت	جذب آب پس از ۲ ساعت	جذب آب پس از ۲۴ ساعت
اثر مستقل مقدار پوست تخم مرغ	۰/۰۰۰۱**	۰/۰۰۰۱**	۰/۰۰۰۱**	۰/۰۰۰۱**	۰/۰۰۰۱**	۰/۰۰۰۱**
اثر مستقل مقدار نانو اکسید روی	۰/۰۰۰۱**	۰/۰۰۱۲**	۰/۰۶۴۸ ^{NS}	۰/۰۰۰۱**	۰/۰۰۰۱**	۰/۰۰۰۱**
اثر متقابل مقدار پوست تخم مرغ و نانو	۰/۰۰۰۱**	۰/۵۷۴ ^{NS}	۰/۹۷۹۳ ^{NS}	۰/۱۲۵۱ ^{NS}	۰/۰۵۴۱ ^{NS}	۰/۰۸۳ ^{NS}

** معنی دار در سطح اطمینان ۹۵ درصد NS: عدم معنی داری

مقاومت خمشی و کششی

همان‌طور که در جدول ۳ مشاهده می‌شود اثر مستقل مقدار پوست تخم مرغ بر خواص مقاومت خمشی و کششی تخته‌ها در سطح اطمینان ۹۵ درصد معنی دار بود. با توجه به شکل ۲ مشاهده می‌شود که افزایش میزان پوست تخم مرغ باعث کاهش مقاومت خمشی و کششی نمونه‌ها شده است. نمونه‌های شاهد (بدون پوست تخم مرغ) دارای بالاترین مقاومت خمشی و کششی هستند و در گروه بندی دانکن در

گروه برتر A قرار دارند. مقاومت خمشی نمونه شاهد در مقایسه با نمونه دارای ۵ درصد پوست تخم مرغ ۴/۴۱ درصد بالاتر است و نسبت به تخته‌های ۱۰ درصد پوست تخم مرغ مقدار ۸/۱۵ درصد بالاتر بود. همچنین مقاومت کششی نمونه شاهد در مقایسه با نمونه دارای ۵ درصد پوست تخم مرغ ۵/۴۷ درصد بالاتر است و نسبت به تخته‌های با ۱۰ درصد پودر چوب مقدار ۷/۵۸ درصد بالاتر بود.



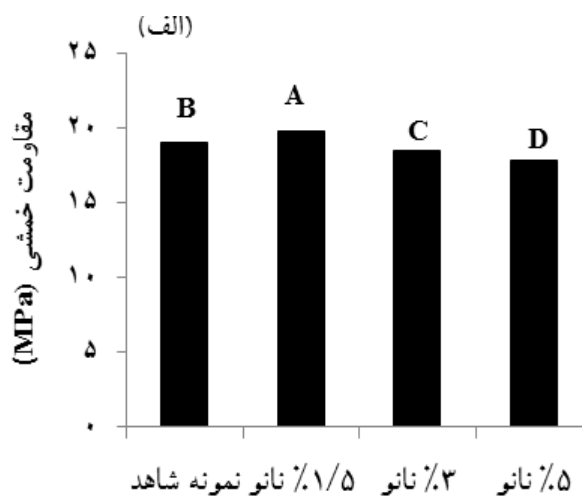
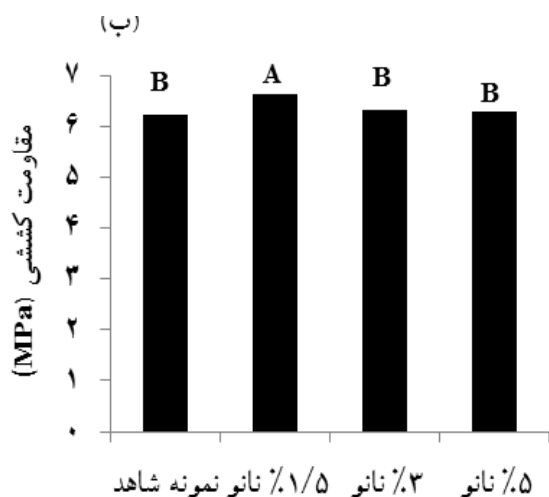
شکل ۲- اثر مستقل پوست تخم مرغ به پودر چوب بر الف) مقاومت خمشی ب) مقاومت کششی

درصد معنی دار بود (جدول ۳). همان‌طور که در شکل ۳ مشاهده می‌شود نمونه‌های دارای ۱/۵٪ نانو بالاترین مقاومت

تجزیه واریانس اثر مستقل نانو اکسید روی بر خواص مکانیکی مورد بررسی در این تحقیق در سطح اطمینان ۹۵

میانگین‌ها به روش آزمون دانکن تخته‌های ساخته شده با ۱/۵ درصد نانو اکسید روی را در گروه برتر A قرار داد.

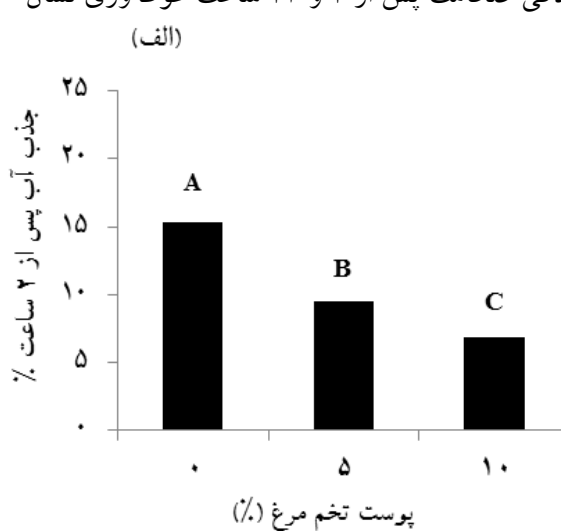
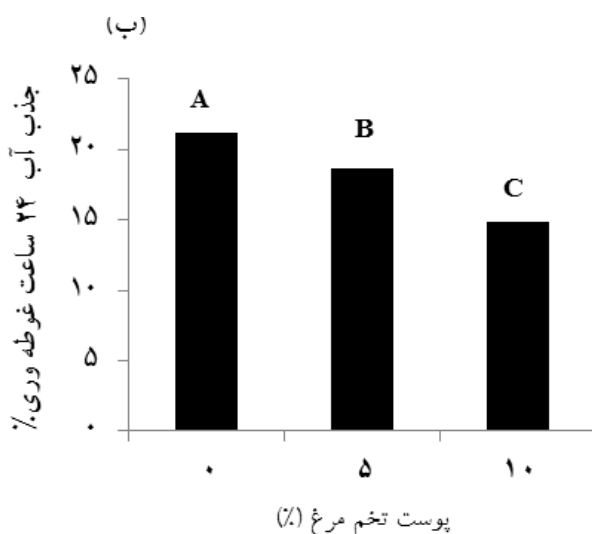
خمشی و کششی را دارند و با افزایش مقدار نانو بیش از ۱/۵٪ باعث کاهش مقاومت شده است. بدین ترتیب، مقایسه



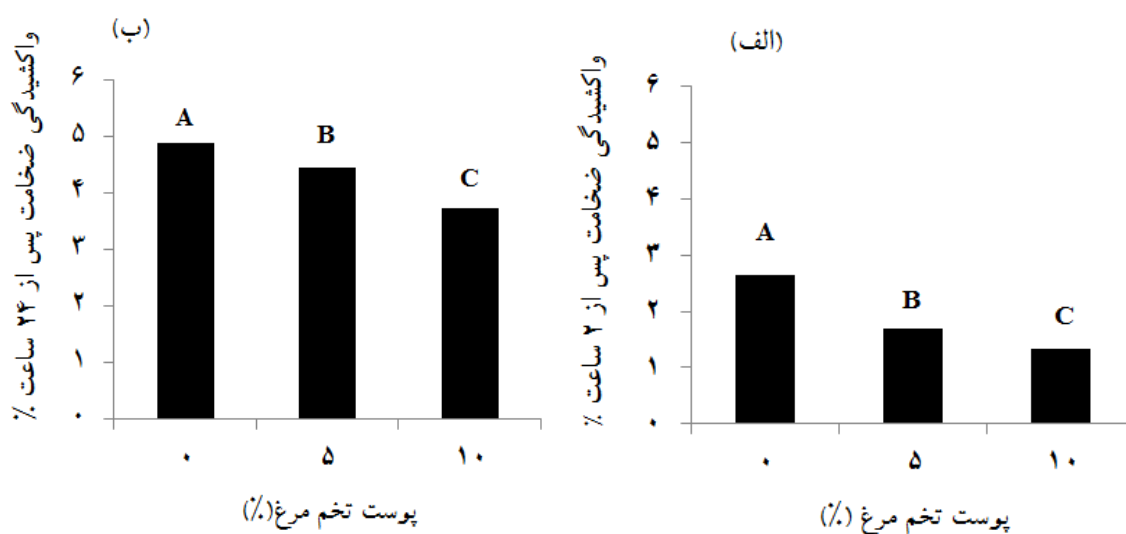
شکل ۳- اثر مستقل نانو اکسید روی بر الف) مقاومت خمشی ب) مقاومت کششی

می‌دهد. همان‌طور که ملاحظه می‌شود افزایش میزان پوست تخم‌مرغ باعث کاهش جذب آب و واکنشیدگی ضخامت نمونه‌ها شده است. نمونه‌های شاهد (نمونه‌های فاقد پوست تخم‌مرغ) دارای بالاترین جذب آب و واکنشیدگی ضخامت و تخته‌های دارای ۱۰ درصد پوست تخم‌مرغ دارای کمترین جذب آب و واکنشیدگی ضخامت بودند.

جذب آب و واکنشیدگی ضخامت ۲ و ۲۴ ساعت تجزیه واریانس آزمون جذب آب و واکنشیدگی ضخامت پس از ۲ و ۲۴ ساعت غوطه‌وری تخته‌های آزمونی نشان می‌دهد که تأثیر مستقل پوست تخم‌مرغ بر جذب آب و واکنشیدگی ضخامت، در سطح ۹۵ درصد معنی‌دار بود. شکل ۴ و ۵ اثر مستقل پوست تخم‌مرغ را به ترتیب بر جذب آب و واکنشیدگی ضخامت پس از ۲ و ۲۴ ساعت غوطه‌وری نشان



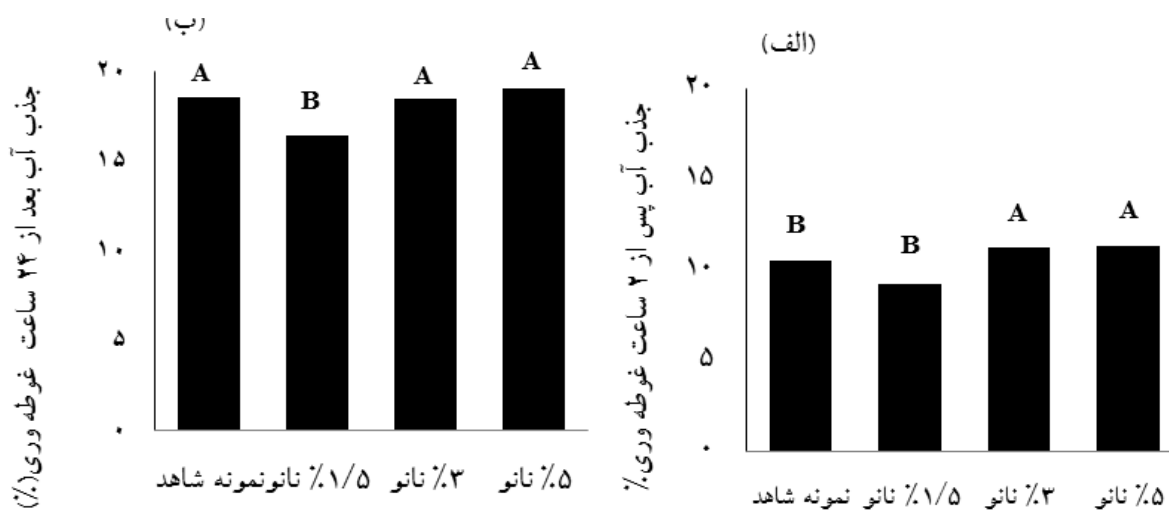
شکل ۴- اثر مستقل پوست تخم‌مرغ بر جذب آب: الف) پس از ۲ ساعت غوطه‌وری، ب) پس از ۲۴ ساعت غوطه‌وری



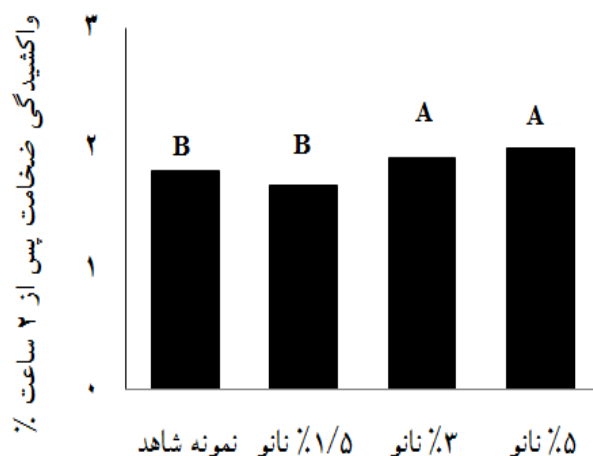
شکل ۵- اثر مستقل پوست تخم مرغ بر واکسیدگی ضخامت: (الف) پس از ۲ ساعت غوطه‌وری، (ب) پس از ۲۴ ساعت غوطه‌وری

ضخامت را پس از ۲ ساعت غوطه‌وری نشان می‌دهد. همان‌طور که ملاحظه می‌شود تخته‌های ساخته شده با نانو اکسید روی در سطح ۱/۵ درصد حداقل جذب آب و واکسیدگی ضخامت نمونه‌ها را داشته‌اند و در گروه‌بندی دانکن در گروه B قرار گرفته‌اند.

جدول آنالیز واریانس نشان داد که اثر مستقل مقدار نانو اکسید روی بر واکسیدگی ضخامت پس از ۲ ساعت غوطه‌وری و جذب آب ۲ و ۲۴ ساعت معنی‌دار بود. شکل ۶ اثر مقدار نانو اکسید روی را بر جذب آب ۲ و ۲۴ ساعت و شکل ۷ اثر مقدار نانو اکسید روی بر واکسیدگی



شکل ۶- اثر مستقل نانو اکسید روی بر جذب آب: (الف) پس از ۲ ساعت غوطه‌وری، (ب) پس از ۲۴ ساعت غوطه‌وری

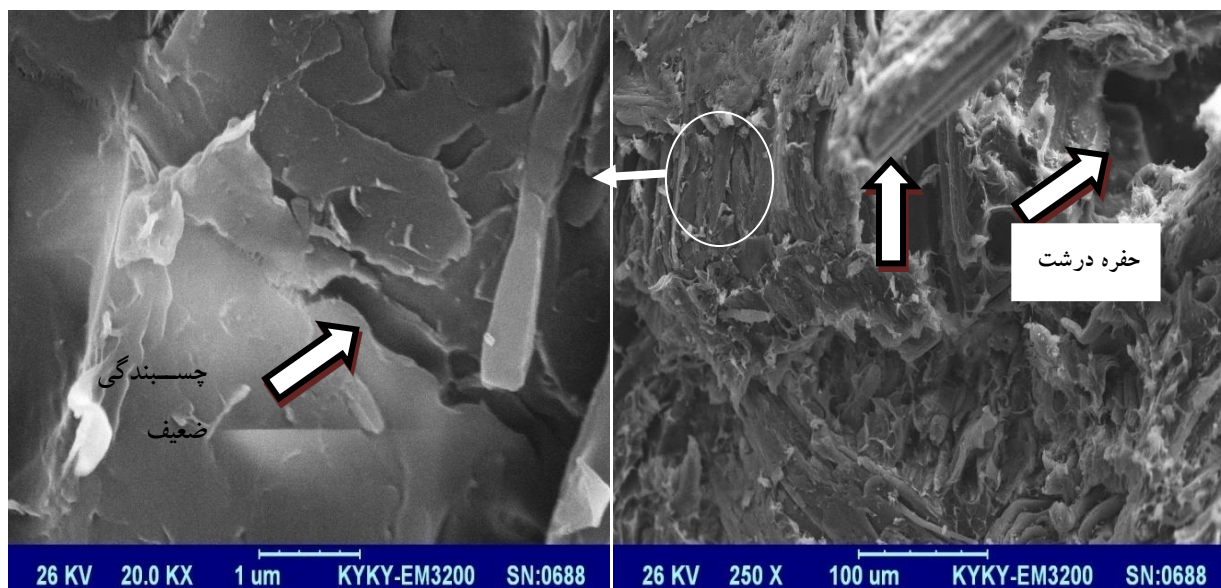


شکل ۷- اثر مستقل نانو اکسید روی بر واکشیدگی ضخامت پس از ۲ ساعت غوطه‌وری در آب

خود بیرون آمده و سبب ایجاد تنش و شکنندگی بین ذرات شده و مقاومت‌های چندسازه را کاهش دهد. همچنین در سطح شکست ترکهای ریزی وجود دارد که نشان‌دهنده پیوستگی ضعیف بین اجزای چندسازه است. از سوی دیگر وجود حفره‌ها در سطح شکست درشت‌تر است که باعث می‌شود مقاومت‌های چندسازه کمتر شود.

ریخت‌شناسی چندسازه‌ها

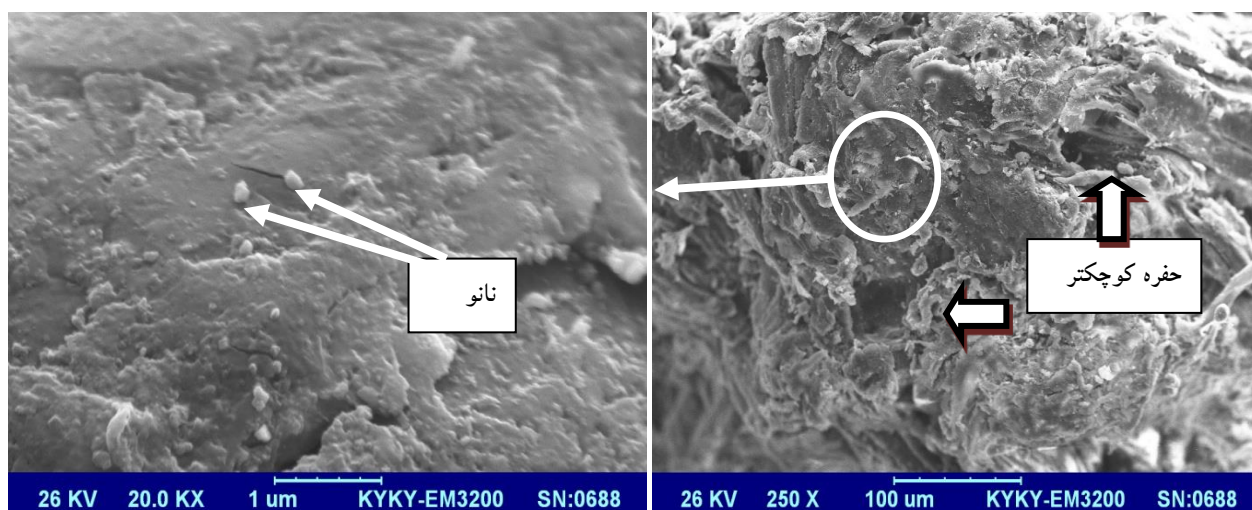
شکل ۸ تصویر میکروسکوپ الکترونی از نمونه شاهد را نشان می‌دهد که پیوستگی خوبی بین ذرات وجود ندارد و عدم چسبندگی مناسب بین دو مرحله در سطح مشترک باعث می‌شود ذرات پودر چوب در لحظه اعمال تنش به راحتی بر روی زنجیره‌های پلیمر کشیده و از درون جای



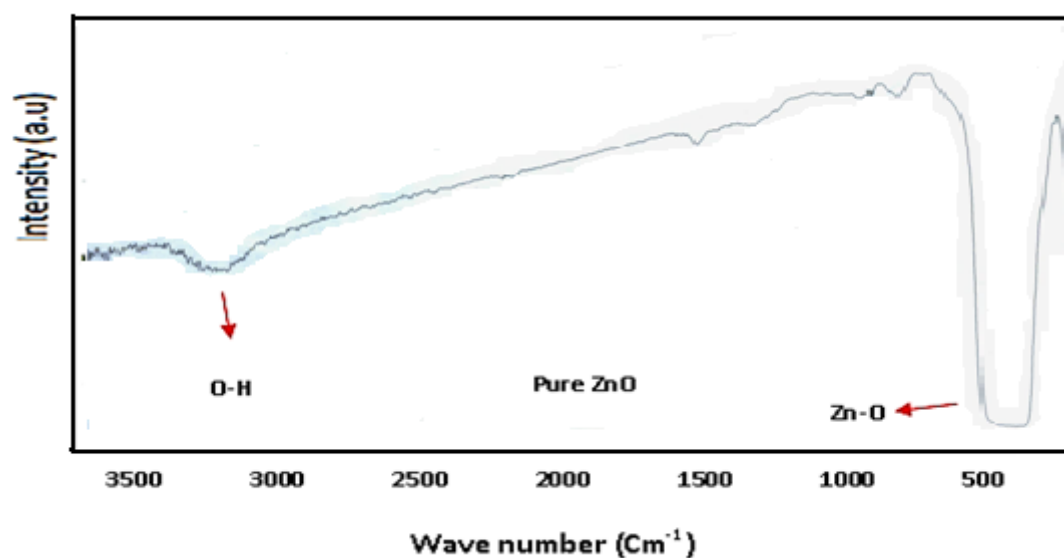
شکل ۸- تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) نمونه شاهد با بزرگنمایی ۲۵۰ و ۲۰۰۰۰ برابر

پیوستگی بین ذرات بهبود یافته و سطح حفره‌ها کوچک تر و سطح شکست صاف تر است. بدین ترتیب باعث پیوند بهتر بین ذرات چندسازه شده و مقاومت‌ها را بهبود داده است.

شکل ۹ تصویر میکروسکوپ الکترونی سطح شکست چندسازه ساخته شده بدون پوست تخم‌مرغ و ۱/۵ درصد نانو را نشان می‌دهد که نانو باعث شده ذرات چندسازه مخلوط یکنواخت تر و همگن تری داشته باشد و



شکل ۹- تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) نمونه با ۱/۵ درصد نانو اکسید روی با بزرگنمایی ۲۵۰ و ۲۰۰۰۰ برابر



شکل ۱۰- طیف FTIR نانوذرات اکسید روی

طیف‌سنجی مادون‌قرمز (FTIR)

طیف‌سنجی مادون‌قرمز یکی از روش‌های خوب و متداولی است که از مهر و موم‌ها پیش برای تجزیه و شناسایی پلیمرها و برخی افزودنی‌های آنها، مورد استفاده قرار گرفته است. طیف‌سنجی مادون‌قرمز بر اساس جذب تابش و بررسی جهش‌های ارتعاشی مولکول‌ها و یون‌های چند اتمی انجام می‌شود. این روش به‌عنوان روشی پر قدرت و توسعه‌یافته برای تعیین ساختار و اندازه‌گیری گونه‌های شیمیایی به‌کار می‌رود. همچنین این روش عمدتاً برای شناسایی ترکیبات آلی به‌کار می‌رود، زیرا طیف‌های این ترکیبات معمولاً پیچیده هستند و تعداد زیادی پیک‌های حداکثر و حداقل دارند که می‌توانند برای اهداف مقایسه‌ای به‌کار گرفته شوند. شکل ۱۰ طیف‌سنجی مادون‌قرمز (FTIR) نانوذره اکسیدروی را نشان می‌دهد که از این روش برای اطمینان از تشخیص ذرات نانو اکسید روی مورد استفاده قرار گرفت. در شکل ۱۰ وجود پیوندهای کششی در cm^{-1} ۳۴۳۹ مربوط به گروه هیدروکسیل در سطح نانوذرات ZnO می‌باشد. همچنین قله مشاهده شده در cm^{-1} ۴۵۳ ناشی از پیوند Zn-O است.

بحث

نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که استفاده از پوست تخم‌مرغ در ساخت چندسازه چوب پلاستیک سبب کاهش اندکی در مقاومت‌های خمشی و کششی آنها می‌شود. از سوی دیگر استفاده از نانو اکسید روی نیز باعث بهبود خواص مکانیکی ذکر شده می‌گردد. در این مورد بالاترین میزان مقاومت خمشی و کششی را تخته‌های ساخته شده بدون استفاده از پوست تخم‌مرغ و دارای ۱/۵ درصد نانو اکسید روی داشتند. البته با افزایش نسبت اختلاط پوست تخم‌مرغ به پودر چوب مقاومت خمشی و کششی تخته‌ها کاهش یافت. یکی از دلایلی که پودر پوست تخم‌مرغ اثر منفی در خواص مکانیکی مانند مقاومت به خمش و مقاومت به کشش می‌گذارد، این است که پودر پوست تخم‌مرغ در اثر حرارت قابلیت انعطاف ندارد ولی پودر چوب و پلیمر در اثر

حرارت نرم می‌شوند و کاملاً باهم مخلوط می‌شوند اما پودر پوست تخم‌مرغ یک ماده معدنی است که قابلیت انعطاف کمی دارد و در اثر حرارت نیز قابلیت انعطاف ندارد و ممکن است حفره‌هایی ایجاد کند و مناطقی متراکم شود و مناطقی دارای تخلخل بیشتری شود و باعث ناهمگنی شود که موجب کاهش مقاومت‌ها می‌شود.

با مشاهده عکس‌های میکروسکوپ الکترونی (SEM) نمونه‌های شکست آزمون کششی مشاهده می‌گردد که استفاده از ۱/۵ درصد نانو پیوستگی بین اتصال بهتر شده و فضاهای خالی بین اجزاء چندسازه را پر کرده و ایجاد بافت یکنواخت و فشرده‌تر در اتصالات کرده که باعث افزایش این خواص شده است. باین حال تخته‌های با بیش از ۱/۵ درصد نانو مقاومت آنها کمی بیشتر از نمونه شاهد بودند، این نتایج نشان می‌دهد که تعامل سطحی بین نانوذرات اکسید روی و اجزای چندسازه به اندازه کافی قوی بود که شکست برشی را در امتداد جهت بارگذاری کششی به تأخیر انداخت و با اختلاط نانو ذرات اکسید روی، انعطاف‌پذیری زیاد شد و از این رو استحکام کششی تا حدی جبران شد. نتایج به‌دست آمده با تحقیق Zhao و همکاران (۲۰۰۶) که در مورد تأثیر نانو اکسید روی بر رفتار تخریب نوری و کششی نانو کامپوزیت پلی پروپیلن (فقط پلیمر و نانو اکسید روی) بود، مطابقت دارد.

استفاده بیش از ۱/۵ درصد نانو اکسید روی باعث ضعیف شدن اتصالات شد که به دلیل انباشتگی و تجمع نانو اکسید روی در ماتریس پلیمری بود. از این رو افزایش مقدار نانو مناطقی را در ماتریس پلیمری به وجود آورد که موجب تمرکز بیشتر تنش شده و رشد ترک را از آن ناحیه آغاز می‌کند و همچنین تأثیر منفی درصدهای بالای استفاده از ذرات نانو اکسید روی در اتصالات و تراکم تنش و همچنین تشکیل توده‌های درهم‌رفته مقاومت را کاهش می‌دهد؛ که این با تحقیق Tabrsa و zahedi (۲۰۱۳) در مورد مطالعه خواص فیزیکی، مکانیکی و ریخت‌شناسی نانو کامپوزیت ساخته شده از ساقه کلزا مطابقت دارد.

در مورد جذب آب و واکنشیدگی ضخامت نیز کمترین مقدار مربوط به نمونه‌های ساخته شده با ۱/۵٪ نانو و ۱۰

- fiber reinforced polymer composites. *Compos Part B – Eng*, 42(4): 856–73.
- Kumar, R., Dhaliwal, J., Kapur G., Shashikant., 2013. Mechanical Properties of Modified Biofiller-Polypropylene Composites. *POLYM. COMPOS*, (35):708–714.
 - Liang, H-H., Liu, K., Hwang, R-L., Ho, M-C., 2010. Influence of waste eggshell powder on combustion characteristics of cork-based materials. *Materials Letters*, 64: 987–989.
 - Liu, Y., Wang, K., Li, C., Metzger, G., 2014. Eggshell powder compositions and methods of producing eggshell powder compositions. Patent WO2013075003A1.
 - Masuda, Y., Hiramatsu, H., 2008. Bioavailability and Physiological Function of Eggshells and Eggshell Membranes In: Mine, Y., ed. *Egg Bioscience and Biotechnology*, Wiley Interscience: New York, 124–129.
 - Ravi Kumar, BN., Suresha, B., Venkataramareddy, M., 2009. Effect of particulate fillers on mechanical and abrasive wear behaviour of polyamide 66/polypropylene nanocomposites. *Mater Des*, 30(9):3852–3858.
 - Salla, J., Krishna, K., Pandey., Srinivas, K. 2012. Improvement of UV resistance of wood surfaces by using ZnO nanoparticles. *Polymer Degradation and Stability*, (97): 592-596.
 - Toro, P., Quijada, R., Yazdani-Pedram, M., Arias, J.L., 2007. Eggshell, a new bio-filler for polypropylene composites. *Materials Letters* (61): 4347–4350.
 - Tsai, W., Yang, J., Hsu, H., Lin, C., Lin, K., Chiu, C., 2008. Development and characterization of mesoporosity in eggshell ground by planetary ball milling. *Microporous and Mesoporous Materials* (111): 379–386.
 - Vaidya, UK., Chawla, KK., 2008. Processing of fibre reinforced thermoplastic composites. *Int Mater Rev*, 53(4):185–218.
 - Weichelt, F., Emmler, R., Flyunt, R., Beyer, E, Michael, R., Mario Beyer, B., 2009. *Macromol Mater Eng*, 295: 130-136
 - Zahedi, m., Tabarsa, d., 2013. Study physical properties, mechanical and morphological nanocomposites made from canola straw. *Wood and Paper Industries magazine*, Volume: 28, Issue 4, Pages 742-754.
 - Zhao, H., Robert, K., Li, Y., 2006. A study on the photo-degradation of zinc oxide (ZnO) filled polypropylene nanocomposites. *Polym*, 47: 3207-3217.

درصد پوست تخم‌مرغ مشاهده شد، به طوری که با افزایش نسبت اختلاط پوست تخم‌مرغ به پودر چوب، جذب آب و واکنشیدگی ضخامت روند کاهشی داشت، به علت اینکه پودر پوسته تخم‌مرغ ساختار چربی و پروتئین اصلی خود را حفظ کرده است، در نتیجه، پودر پوسته تخم‌مرغ دارای خاصیت آب‌گریز است؛ در نتیجه خاصیت آب‌گریز بودن پودر پوست تخم‌مرغ در مقایسه با پودر چوب منجر به کاهش جذب آب و واکنشیدگی ضخامت گردید که با کاهش میزان پودر چوب و افزایش پودر پوست تخم‌مرغ اتفاق افتاده است، در نتیجه منجر به بهبود ثبات ابعادی چندسازه گردید که این با اختراع Liu و همکاران (۲۰۱۴) که در مورد کامپوزیت پودر پوست تخم‌مرغ انجام دادند، مطابقت دارد در این اختراع، با اندازه‌گیری زاویه تماس قطره آب با پودر پوست تخم‌مرغ، خاصیت آب‌گریز بودن پودر پوست تخم‌مرغ را اثبات کردند. از طرفی نانو اکسید روی بیش از ۱/۵ درصد باعث ضعیف شدن اتصالات و در نتیجه نفوذ آب بیشتر و بهتر به داخل تخته شده و سبب افزایش جذب آب و واکنشیدگی ضخامت گردید.

منابع مورد استفاده

- Bazant, P., Munster, L., Machovsky, M., Sedlak, J., Pastorek, M., Kozakova, Z., Kuritka, I., 2014. Wood flour modified by hierarchical Ag/ZnO as potential filler for wood-plastic composites with enhanced surface antibacterial performance. *Industrial Crops and Products*, (62): 179–187.
- Bledzki, AK., Letman, M., Viksne, A., Rence, L., 2005. A comparison of compounding processes and wood type for wood fibre—PP composites. *Compos Part A: Appl Sci Manuf*, 36(6): 789–797.
- Clausen, C.A., 2007. Nanotechnology: implications for the wood preservation industry. Paper prepared for the 38 Annual Meeting Jackson Lake Lodge, Wyoming. USA, 20-24 May: 1-10.
- Krishnan, A., Iyer, A., John, M., Torkelson., 2014. Green composites of polypropylene and eggshell: Effective biofiller size reduction and dispersion by single-step processing with solid-state shear pulverization. *Composites Science and Technology*, (102): 152–160.
- Ku, H., Wang, H., Pattarachaiyakoop, N., Trada, M., 2011. A review on the tensile properties of natural

The effect of utilizing ZnO nanoparticles and eggshell on physical and mechanical properties of wood -plastic composite

M. Madadi^{1*}, H. Rangavar² and A. Nourbakhsh³

1*- Corresponding Author, M.Sc., Student of Wood science and Tecnology Department, Shahid Rajae Teacher Training University, Tehran, Iran, Email:a.madani30@yahoo.com

2- Associate Prof., Wood Science and Tecnology Department, Shahid Rajae Teacher Training University, Tehran, Iran

3- Associate Prof., Wood and forest products division, Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran

Received: Aug., 2014

Accepted: March, 2016

Abstract

In this research, utilization of ZnO nanoparticles and eggshell powder on physical and mechanical properties of polypropylene/wood flour composite were investigated. For this purpose, wood flour and polypropylene were mixed at 60 to 40% by weight. Eggshell powder at three levels (0, 5 and 10) percent and nano ZnO at four levels (0, 1.5, 3 and 5) percent were considered as variable factors. Physical and mechanical properties including water absorption and thickness swelling after 2 and 24 hours immersion in water, and flexural strength was measured in accordance with DIN-EN 310-2006 standard, and tensile strength were measured in accordance with ASTM D1037 standard. Scanning electron microscopy (SEM) were performed to interpret the results. The results were statistically analyzed using factorial experimental under completely randomized block design and the averages were compared using DMRT. Results showed that increasing the mixing ratio of eggshell powder to wood flour decreased mechanical strength but improved the water absorption and thickness swelling after 2 and 24 hrs immersion in water. Using 1.5% nano ZnO increased the strength properties to the maximum values and improved physical properties.

Key words: Polypropylene, eggshell, composite, ZnO, strength.