

## تأثیر ذرات نانورس و سازگارکنندگی پلی پروپیلن اکسیدشده در فاز مذاب بر خواص مکانیکی و فیزیکی چندسازه چوب پلاستیک

### چکیده

این تحقیق با هدف بررسی اثر ذرات نانورس و سازگارکنندگی پلی پروپیلن اکسیدشده در فاز مذاب بر خواص مکانیکی و فیزیکی چندسازه چوب پلاستیک حاصل از آرد گیاه نی (*Phragmites Australis*) و پلی پروپیلن انجام شد. بدین منظور پلی پروپیلن به روش مذاب و طی مدت ۲ ساعت، در مجاورت اکسیژن هوا و الکل ۱- دودکانول اکسید شد. سپس آرد گیاه نی با نسبت وزنی ۵۰ درصد با فاز پلیمری به همراه سازگارکننده در دو سطح (۰ و ۳ درصد) و ذرات نانورس در ۳ سطح (۰، ۲ و ۴ درصد) در دستگاه مخلوطکن داخلی به مدت ۶ دقیقه و تحت دمای ۱۶۵ درجه سانتیگراد مخلوط شد. در نهایت نمونه‌های آزمون با ابعاد ۲×۱۵۰×۱۵۰ میلی‌متر با استفاده از دستگاه پرس گرم ساخته شد. خواص مکانیکی و فیزیکی نمونه‌ها نظیر مدول و مقاومت‌های کششی و خمشی، مقاومت به ضربه، جذب آب و واکنشیدگی ضخامتی بلندمدت مطابق آیین‌نامه‌های استاندارد ASTM مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که استفاده از سازگارکننده سبب بهبود کلیه خواص مکانیکی و فیزیکی چندسازه گردید. همچنین نتایج حاکی از آن بود که خواص مکانیکی و فیزیکی چندسازه چوب پلاستیک به‌استثنای مقاومت به ضربه فاق‌دار، با افزایش مقدار نانورس بهبود یافته است. مطالعات ساختاری کامپوزیت و چگونگی پراکنش نانو ذرات نیز با استفاده از طیف‌سنجی تفرق اشعه ایکس و تصاویر میکروسکوپ الکترونی عبوری نشان داد که توزیع ذرات نانورس در زمینه پلیمری از نوع ساختارهای بین‌لایه‌ای بوده است.

**واژگان کلیدی:** چوب پلاستیک، نانورس، پلی پروپیلن اکسیدشده، میکروسکوپ الکترونی، *Phragmites Australis*.

بابک نصرتی ششکل<sup>۱\*</sup>  
فاطمه دهدست<sup>۲</sup>  
رحیم محبی گرگری<sup>۳</sup>  
مجید عبدوس<sup>۴</sup>

<sup>۱</sup> استادیار گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه زابل، زابل، ایران

<sup>۲</sup> دانش‌آموخته کارشناسی ارشد فرآورده‌های چندسازه چوب، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه زابل، زابل، ایران

<sup>۳</sup> مربی گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه زابل، زابل، ایران

<sup>۴</sup> استاد گروه شیمی، دانشکده مستقل شیمی، دانشگاه امیرکبیر، تهران، ایران

مسئول مکاتبات:

[nosrati.babak@uoz.ac.ir](mailto:nosrati.babak@uoz.ac.ir)

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۵/۲۴

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۸/۲۲

### مقدمه

اختلاط فیزیکی دو یا چند ماده حاصل می‌شوند، به‌طوری‌که اجزاء تشکیل‌دهنده ماهیت شیمیایی و طبیعی خود را کاملاً حفظ می‌کنند. در ساخت این چندسازه‌ها

چندسازه‌های چوب پلاستیک گروه جدیدی از چندسازه‌های در حال گسترش هستند که از ترکیب و

چوب پلاستیک است. از جمله روش‌هایی که می‌توان از آن برای سازگاری پلیمر و پُرکننده‌های طبیعی استفاده نمود اکسیداسیون پلیمر است که به روش‌های مختلفی صورت می‌گیرد. اکسیداسیون سبب تشکیل گروه‌های قطبی و بهبود در خواص فیزیکی و مکانیکی پلیمر نظیر قطبیت سطح، کشش سطحی و چسبندگی می‌گردد [۳ و ۴]. اکسیداسیون پلی پروپیلن باعث ایجاد گروه‌های عاملی قطبی نظیر کتون، کربوکسیلیک اسید و استر می‌شود که این گروه‌ها قابلیت چسبندگی این ماده را افزایش می‌دهد و سبب بهبود خواص سازگار کنندگی آن می‌شود [۵]. در این زمینه تحقیقات بسیار زیادی انجام گرفته است از جمله: Carlsson و همکاران (۱۹۸۶) و Shlyapniko و همکاران (۱۹۸۷)، در تحقیقی به این نتیجه رسیدند که اکسایش سبب تشکیل گروه‌های قطبی می‌شود و سبب تغییر در خواص فیزیکی و مکانیکی پلیمر نظیر قطبیت سطح، کشش سطحی و چسبندگی می‌گردد و بدین طریق سبب بهبود خواص مکانیکی، فیزیکی و حرارتی چندسازه حاصل گردید [۶ و ۷]. LU و همکاران (۲۰۰۵) از دو نوع پلی اتیلن اکسید شده به عنوان سازگار کننده در ترکیب چندسازه چوب پلاستیک استفاده کردند. نتایج نشان داد که استفاده از پلی اتیلن اکسید شده، سبب بهبود خواص فیزیکی و مکانیکی چندسازه می‌شود [۲]. هم‌چنین اکسید شده در فاز مذاب<sup>۱</sup> و پلی پروپیلن اصلاح شده با انیدرید مالئیک<sup>۲</sup> را به عنوان سازگار کننده در چندسازه چوب پلاستیک مورد مطالعه قرار دادند که نتایج نشان داد استفاده از پلی پروپیلن اکسید شده عملکرد بهتری نسبت به MAPP در افزایش خواص مکانیکی و کاهش جذب آب و واکنشیدگی ضخامت دارد [۸]. Adhikary و همکاران (۲۰۰۸) و Xue و همکاران (۲۰۰۳) نیز با بررسی میزان تأثیر سازگار کننده بر خواص مکانیکی و ثبات ابعادی چندسازه چوب پلاستیک اعلام کردند که استفاده از سازگار کننده سبب خیس شدن بهتر الیاف توسط ماده زمینه‌ای گردیده و موجب افزایش چسبندگی در فصل مشترک ماده زمینه‌ای و الیاف و باعث بهبود معنی‌داری در

محدوده وسیعی از پلیمرها و پُرکننده‌های سلولزی و لیگنوسلولزی مورد استفاده قرار می‌گیرند. البته در سال‌های اخیر کمبود ماده اولیه واقعی است که توسعه صنایع چوب و کاغذ کشور را با چالش‌های عدیده‌ای روبرو کرده است از این رو برای رفع کمبود منابع چوبی، می‌توان از منابع سلولزی و لیگنوسلولزی غیر چوبی استفاده کرد که امروزه به دلیل مسائل زیست محیطی بسیار مورد توجه قرار گرفته است [۱]. الیاف حاصل از ضایعات کشاورزی در زمره منابع سلولزی غیر چوبی قرار دارند که شامل الیاف گیاه نی، کاه گندم، کاه برنج، باگاس، جوت، شاهدانه، کنف هندی، کنف، سیسال، نخل و الیاف دانه یا میوه مانند کتان و نارگیل می‌باشند. در این میان الیاف گیاه نی به دلیل داشتن خواص جالب توجه نظیر تکثیر آسان، رشد سریع و میزان تولید زیاد، دوره بهره‌برداری کوتاه، تداوم داشتن موجودی و امکان کشت در اراضی باتلاقی می‌تواند به عنوان یک ماده لیگنوسلولزی غیر چوبی ارزان، مناسب و تجدید شونده در صنایع سلولزی مورد استفاده قرار گیرد [۲]. چندسازه چوب پلاستیک علاوه بر مصارف و مزایای فراوان، دارای معایبی نیز است که از جمله آن‌ها می‌توان به عدم سازگاری فاز طبیعی و فاز پلیمری اشاره کرد؛ بنابراین می‌توان با استفاده از یک عامل شیمیایی تحت عنوان سازگار کننده، علاوه بر برقراری اتصال مؤثر بین دو فاز طبیعی و پلیمری، سطوح مشترک بین این دو فاز را نیز افزایش داد. سازگار کننده‌ها موادی هستند که دارای یک سر قطبی و یک سر غیر قطبی می‌باشند. بنابراین نقش یک پل ارتباطی را بین مواد تقویت کننده قطبی و پلیمر غیر قطبی بازی می‌کنند. سازگار کننده باید دارای ساختاری باشد که بتواند با هر دو فاز چندسازه برهم کنشی (از نوع فیزیکی و شیمیایی) برقرار کند به نحوی که منجر به بهبود سازگاری و توسعه چسبندگی بین مواد سلولزی و پلاستیک شود. علی‌رغم پیشرفت‌های قابل توجه در سازگاری بین پلیمر و پُرکننده‌های طبیعی، یافتن مواد جدیدی که بتواند سازگاری بیش‌تری بین چوب و پلاستیک به وجود آورد و یا با میزان و هزینه کم‌تری استفاده شود، مورد توجه محققان و هم‌چنین صنعت

1- Oxidized Polypropylene (OPP)

2- Maleic Anhydride grafted Polypropylene (MAPP)

تضعیف خواص چندسازه‌ها می‌شود [۱۵ و ۳]. Han و همکاران (۲۰۰۸)، تأثیر استفاده از نانورُس و ماده سازگارکننده را بر ویژگی‌های مکانیکی و حرارتی چندسازه‌های حاصل از الیاف بامبو-پلی‌اتیلن سنگین مورد بررسی قرار دادند. نتایج مطالعات آن‌ها نشان داد که به هنگام افزودن یک درصد نانورُس، مدول الاستیسیته خمشی و مدول الاستیسیته دینامیک افزایش یافت، در حالی که مقاومت به ضربه نمونه‌ها کاهش یافت [۱۲]. Wu و همکاران (۲۰۰۷)، دریافتند که با اضافه نمودن پرکننده نانورُس به چندسازه حاصل از آرد چوب کاج و پلی‌اتیلن سنگین مقاومت خمشی و کششی افزایش می‌یابد [۱۶]. لذا با توجه به نقش و اهمیت استفاده از نانوذرات و سازگارکننده‌ها در بهبود خواص چندسازه‌های چوب‌پلاستیک، این تحقیق با هدف بررسی اثر سازگارکنندگی پلی‌پروپیلن اکسیدشده در فاز مذاب به‌عنوان سازگارکننده و استفاده از ذرات نانورُس در بهبود خواص مکانیکی و فیزیکی چندسازه آرد گیاه نی-پلی‌پروپیلن، مورد توجه قرار گرفت.

## مواد و روش‌ها

### مواد

گرانول پلی‌پروپیلن از شرکت آذر مهر هونام (تهران-ایران) با دانسیته ۰/۹ گرم بر سانتی‌متر مربع و درجه جریان مذاب ۸ gr/۱۰ min تهیه شد. همچنین از ساقه‌های نی (*Phragmites Australis*) تهیه‌شده از تالاب هامون سیستان به‌عنوان فاز طبیعی استفاده گردید. ذرات نانورُس تهیه‌شده با نام تجاری DK بر مبنای مونتموریلونیت بوده و رُس استفاده‌شده شامل  $Ca^{++}$ ،  $Na^{+}$ ،  $Mg^{++}$ -MMT در ساختار خود است و دارای بیش از ۹۵-۹۸ درصد نانو مونتموریلونیت است که خواص توزیعی بسیار مناسبی دارد. از پلی‌پروپیلن اکسیدشده در فاز مذاب نیز به‌عنوان سازگارکننده استفاده شده است که در ادامه نحوه تولید آن در آزمایشگاه شرح داده شده است.

### روش‌ها

#### اکسیداسیون پلی‌پروپیلن در فاز مذاب

از اکسیداسیون در فاز مذاب و در حضور اکسیژن هوا

خواص مکانیکی و ثبات ابعادی چندسازه چوب‌پلاستیک می‌شود [۱۰ و ۹]. همچنین Adhikary و همکاران (۲۰۰۸) با آنالیز تصاویر میکروسکوپی چندسازه اصلاح‌شده با سازگارکننده، بهبود اتصالات زنجیره مولکولی را تأیید کردند [۹]. در دهه‌های اخیر از نظر علمی موضع جدیدی در پژوهش‌ها در مقیاس حد واسط مطالعات مولکولی و میکرو گشوده شده و شناخت رفتار و برهم‌کنش مواد در محدوده نانو در زمره اولویت‌های پژوهشی قرار گرفته است. نانوذرات از ده‌ها یا صدها اتم یا مولکول با اندازه‌ها و مورفولوژی‌های مختلف (آمورف، کریستالی، کروی شکل، سوزنی شکل و...) ساخته شده است [۵]. نانو ذرات به علت ابعاد خاص و ضریب لاغری بالا در مقایسه با سایر پرکننده‌ها در مقادیر بسیار اندک موجب بهبود خواص چندسازه‌های چوب‌پلاستیک می‌گردد که علت این امر تشکیل ساختارهای متفاوتی نظیر ساختارهای پراکنشی، لایه‌لایه‌ای و بین‌لایه‌ای در چندسازه و ایجاد جهت‌گیری منظم در ساختار پلیمر و اتصال مؤثر با الیاف سلولزی است [۱۱]. نانورُس‌ها کانی‌هایی هستند که حداقل یکی از ابعاد آن‌ها در حد نانومتر است. این مواد به دلیل ارزانی و در دسترس بودن، توجه زیادی در زمینه فناوری نانو به خود جلب کرده است. همچنین اندازه کوچک این مواد آن‌ها را قادر ساخته تا بتوانند با مواد دیگر که در این زمینه وجود دارد، رقابت کنند [۱۲]. Reisi Nafchi و همکاران (۲۰۱۵) و Wang و همکاران (۲۰۰۱) در نتایج حاصل از تحقیقات خود اظهار داشتند که تأثیر استفاده از پرکننده نانورُس بر خصوصیات چندسازه‌ها به شکل، اندازه، ضریب ظاهری، نوع، مقدار و کیفیت پراکنده شدن ذرات و چسبندگی آن‌ها در سطح اتصال بستگی دارد. همچنین بیان کردند که افزودن مقادیر اندک ذرات نانورُس موجبات بهبود خواص مکانیکی و ثبات ابعادی در چندسازه‌ها را فراهم می‌سازند [۱۳ و ۱۴]. Fu و Naguib (۲۰۰۶) و Wang و همکاران (۲۰۰۶) نیز خواص چندسازه‌های تقویت‌شده با ذرات نانورُس را مورد مطالعه قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که این پرکننده‌ها به علت تشکیل ساختارهای لایه‌لایه‌ای و بین‌لایه‌ای موجب پراکنش بهتر ذرات در ماتریس پلیمری شده و در نهایت خواص فیزیکی و مکانیکی چندسازه را به‌استثنای مقاومت به ضربه افزایش می‌دهند، به‌نحوی که استفاده بیش از حد مجاز از نانو ذرات، موجب

با مدل Nicole IR-100 ساخت شرکت SHIMADZU از کشور ژاپن انجام شد.

### آماده‌سازی و ساخت نمونه‌های آزمونی

برای تهیه چندسازه چوب پلاستیک، مواد (آرد گیاه نی، گرانول پلی‌پروپیلن، پلی‌پروپیلن اکسیدشده به‌عنوان سازگارکننده و ذرات نانورس) مطابق جدول ۱ در دستگاه مخلوط‌کن داخلی دو ماردرانه ناهمسوگرد مدل PLASTI-CORDER ساخت کشور آلمان، با سرعت ۶۰ دور در دقیقه و در دمای ۱۶۵ درجه سانتی‌گراد مخلوط شد. زمان هر اختلاط حدود ۶ دقیقه به طول انجامید. پس از فرایند اختلاط، مواد به‌وسیله آسیاب آزمایشگاهی خردشده و با پرس گرم در دمای ۱۸۰ درجه سانتی‌گراد و فشار ۱۵bar و در مدت ۱۲ دقیقه به صفحاتی در ابعاد ۱۵۰×۱۵۰×۲ میلی‌متر تبدیل شدند. این صفحات به‌منظور تهیه نمونه‌های آزمونی با توجه به آزمایش‌های پیش‌بینی‌شده طبق استاندارد موردنظر برش داده شدند که برای هر یک از تیمارها ۵ تکرار در نظر گرفته شد.

مطابق با روش Abdouss و همکاران (۱۹۹۹)، برای تهیه پلی‌پروپیلن اکسیدشده (OPP) استفاده شده است [۵]. در این روش ابتدا پلی‌پروپیلن و الکل ۱- دودکانول را در دستگاه مخلوط‌کن داخلی تحت درجه حرارت ۱۹۰ - ۱۸۵ سانتی‌گراد قرار داده، سپس از اکسیژن هوا به‌منظور اکسیداسیون این ماده استفاده گردید. زمان اکسیداسیون ۲ ساعت و سرعت چرخش برابر ۶۰ دور بر دقیقه در نظر گرفته شد. البته قابل ذکر است که از الکل ۱- دودکانول به‌عنوان تسریع‌کننده در تمامی مراحل به میزان ۱۰۰ میلی‌گرم استفاده گردید، ماده حاصل پس از اتمام اکسیداسیون یک ماده شکننده و ترد است که دارای رنگ سفید متمایل به کرم است.

### طیف‌سنج مادون‌قرمز (FTIR)<sup>۱</sup>

در این بررسی به‌منظور نشان دادن اثر اکسیداسیون بر پلی‌پروپیلن در فاز مذاب و اطمینان از تشکیل گروه‌های قطبی در پلیمر اکسیدشده، از این طیف استفاده شد که این کار توسط دستگاه طیف‌نمایی زیر قرمز فوری (FTIR)

جدول ۱- درصد وزنی اجزای تشکیل‌دهنده ترکیبات مختلف چندسازه چوب پلاستیک

تیمار	آرد گیاه نی (%)	پلی‌پروپیلن (%)	سازگارکننده (OPP) (%)	نانورس (%)
WP	۵۰	۵۰	—	—
WP OPP 3%	۵۰	۴۷	۳	—
WP NANO 4%	۵۰	۴۶	—	۴
WP OPP 3% NANO 2%	۵۰	۴۵	۳	۲
WP OPP 3% NANO 4%	۵۰	۴۳	۳	۴

شد، آزمون کشش نیز مطابق آیین‌نامه D638-03 استاندارد ASTM با سرعت بارگذاری ۲mm/min انجام شد. آزمون‌های خمشی و کششی نمونه‌ها توسط دستگاه HOUNS مدل 25 KS، با ظرفیت سلول ۲۵۰۰۰N موردبررسی قرار گرفتند. همچنین آزمون ضربه مطابق با آیین‌نامه D256 استاندارد ASTM انجام شد و مقاومت به ضربه نمونه‌ها برحسب ۲ J/mm اندازه‌گیری شد.

### اندازه‌گیری خواص چندسازه چوب پلاستیک

#### خواص مکانیکی

آزمون خمش سه‌نقطه‌ای با طول دهانه ۱۰ سانتی‌متر و سرعت بارگذاری ۵ mm/min مطابق آیین‌نامه ۴-۳۱-۷۰۳۱ استاندارد ASTM برای اندازه‌گیری مدول الاستیسیته (MOE)<sup>۲</sup> و مدول گسیختگی (MOR)<sup>۳</sup> بر روی نمونه‌ها به ابعاد ۱۵×۲×۰/۲ سانتی‌متر مکعب انجام

1- Fourier Transfer Infra-Red (FTIR)

2- Modulus of Elasticity

3- Modulus of Rupture

بلورین است، بسیار اهمیت دارد. مهم‌ترین و کلیدی‌ترین کاربرد این روش محاسبه فاصله بین لایه‌ها است که با استفاده از رابطه برآگ<sup>۲</sup> به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$d = n \lambda / 2 \sin \theta \quad \text{رابطه (۳)}$$

در رابطه فوق،  $d$  فاصله صفحات،  $n$  عدد صحیح،  $\theta$  زاویه پراش و  $\lambda$  طول موج اشعه ایکس است. در این بررسی پراش اشعه ایکس توسط دستگاه XRD با تشعشع لامپ  $\text{Co K}\alpha$ ، طول  $\lambda = 1.78897 \text{ \AA}$  گام  $0.02$  درجه بر ثانیه، سرعت  $1$  درجه بر دقیقه و زاویه پراش  $(2\theta)$  در دامنه  $1-12$  درجه انجام شد. نمونه‌ها به صورت ورقه‌ای با ابعاد  $10 \times 10 \times 1 \text{ mm}$  برای این آزمون تهیه شدند.

### تصاویر میکروسکوپ الکترونی (TEM<sup>۳</sup>) و

#### (FESEM<sup>۴</sup>)

به منظور تحلیل بهتر نتایج حاصل و مطالعه مورفولوژی سطوح شکست و ناحیه بینابینی پلیمری و پُرکننده‌ها از مقاطع شکست نمونه‌ها تصاویر میکروسکوپی با استفاده از دستگاه FESEM ساخت شرکت Hitachi و مدل S-4160 تهیه گردید. ولتاژی که توسط این نوع میکروسکوپ مورد استفاده قرار گرفت  $15 \text{ KV}$  است. همچنین به منظور مشاهده دقیق تر ساختار نانوچندسازه و تأیید نتایج آزمون تفرق اشعه ایکس از دستگاه میکروسکوپ الکترونی انتقالی (TEM) ساخت کشور هلند مدل CM 3 با ولتاژ  $300 \text{ KW}$  مورد استفاده قرار گرفت. به این ترتیب که ابتدا نانو چندسازه تهیه شده در درون رزین اپوکسی قالب‌گیری شده و توسط دستگاه پیرایشگر چاقوی الماسی الترامیکروتوم REICHERT مدل OM-U3 ساخت کشور اتریش، برش‌های با ضخامت  $100-60$  نانومتر نمونه تهیه شد. در نهایت برش‌های تهیه شده روی یک توری مسی قرار داده شدند و با کمک فلزات سنگین رنگ شده و برای عکس برداری با دستگاه آماده گردید.

### خواص فیزیکی

آزمایش‌های فیزیکی شامل جذب آب و واکنشیدگی ضخامت بلندمدت نمونه‌ها مطابق آیین‌نامه  $04-031-DV$  استاندارد ASTM انجام شد. بدین منظور نمونه‌های آزمایشی به ابعاد  $2 \times 2 \times 0.2$  سانتی‌متر مکعب تهیه شده، سپس برای توزین نمونه‌ها از ترازوی دیجیتالی با دقت  $0.001$  گرم و برای ضخامت نمونه‌ها از میکرومتر با دقت  $0.001$  میلی‌متر استفاده شد. بعد از اندازه‌گیری وزن و ضخامت اولیه، نمونه‌ها در آب مقطر غوطه‌ور شدند و در زمان‌های مختلف تا رسیدن به حداکثر جذب آب و واکنشیدگی ضخامت، وزن و ضخامت نمونه‌ها اندازه‌گیری و به وسیله مقادیر به دست آمده مقدار جذب آب و واکنشیدگی ضخامت در زمان‌های مختلف محاسبه گردید. درصد جذب آب و واکنشیدگی ضخامت نمونه‌ها در زمان غوطه‌وری  $t$  به ترتیب با استفاده از روابط ۱ و ۲ محاسبه شد:

$$WA(t) = \frac{W_t - W_0}{W_0} \times 100 \quad \text{رابطه (۱)}$$

$WA(t)$  - مقدار جذب آب در زمان غوطه‌وری  $t$  (٪)،  
 $W_t$  - وزن نمونه‌ها در زمان غوطه‌وری (gr)،  
 $W_0$  - وزن خشک نمونه قبل از غوطه‌وری (gr)

$$TS(t) = \frac{T_t - T_0}{T_0} \times 100 \quad \text{رابطه (۲)}$$

$TS(t)$  - واکنشیدگی ضخامت در زمان غوطه‌وری  $t$  (٪)،  
 $T_t$  - ضخامت نمونه‌ها در زمان غوطه‌وری (mm)،  
 $T_0$  - ضخامت نمونه در حالت خشک (mm)

### ریخت‌شناسی

#### طیف‌سنج پراش اشعه ایکس (XRD)<sup>۱</sup>

جهت بررسی ریخت‌شناسی و اطمینان از تشکیل توده کریستالی در نانوکامپوزیت‌های ساخته شده می‌توان از آزمون تفرق اشعه ایکس استفاده کرد. روش پراش اشعه ایکس از آن جهت که روش مستقیمی برای تعیین نوع فازها و ساختار

1- X-Ray Diffraction (XRD)

2 - Bragg

3 - Transfer Electron Microscopy (TEM)

4- Field Emission Scanning Electron Microscopy (FESEM).

بین لایه‌ای در نانو چندسازه به دلیل تأثیر بین سطحی زنجیره‌های آلی و ذرات نانورس و نیز جهت یافتگی ذرات سیلیکات بین لایه‌ای موجب افزایش مقاومت در نانوجنسده می‌گردد [۱۹]. در نمونه‌های حاوی سازگار کننده (پلی پروپیلن اکسید شده) و فاقد ذرات نانورس، افزایش مدول الاستیسیته را می‌توان به بهبود اتصال بین الیاف چوب (فاز قطبی) و پلی پروپیلن (فاز غیرقطبی) نسبت داد که این امر، ناشی از حضور سازگار کننده‌ها است. همچنین افزایش این مدول به میزان قدرت چسبندگی و اتصالی که سازگار کننده بین اجزا ایجاد می‌کند نیز بستگی دارد. در نمونه‌های دارای سازگار کننده و ذرات نانورس علاوه بر تأثیر ماده سازگار کننده (پلی پروپیلن اکسید شده) بر افزایش مقاومت و مدول خمشی چندسازه، می‌توان به ضریب لاغری بالای ذرات نانورس و تشکیل ساختار بین لایه‌ای نیز اشاره کرد [۲۰]. نتایج بررسی خصوصیات مورفولوژیکی و مکانیکی کامپوزیت پلیمری تقویت شده با ذرات نانورس توسط Deshmane و همکاران (۲۰۰۷) و Kord و همکاران (۲۰۱۴) نشان داد که ذرات نانورس به علت تشکیل اتصالات قوی با ماتریس پلیمری، موجب افزایش مدول و مقاومت‌های کامپوزیت پلیمری می‌گردد [۲۱ و ۱۹].

### پردازش آماری داده‌ها

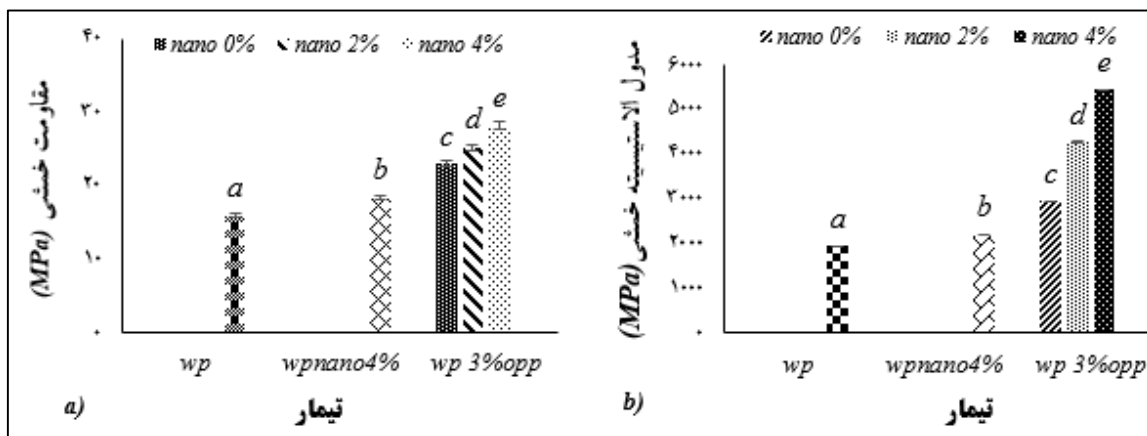
برای تجزیه و تحلیل نتایج و بررسی معنی‌دار بودن و تعیین بهترین ترکیب شرایط از نرم‌افزار SPSS در قالب طرح کاملاً تصادفی متعادل استفاده شد. برای بررسی وجود یا عدم وجود اختلاف معنی‌دار بین تیمارها از تجزیه واریانس یک طرفه استفاده شد و برای مقایسه بین میانگین‌ها نیز از آزمون دانکن در سطح ۵ درصد استفاده گردید.

### نتایج و بحث

#### خواص مکانیکی

#### مقاومت و مدول خمشی

همان‌طور که در شکل ۱ مشاهده می‌شود استفاده از پلی پروپیلن اکسید شده باعث افزایش مقاومت و مدول خمشی شده است. از طرفی دیگر وجود ذرات نانورس در چندسازه‌ها نیز گواه بر عملکرد بهتر چندسازه‌ها گردیده است به گونه‌ای که با افزایش ذرات نانورس از صفر تا ۴ درصد افزایش این خواص چشمگیرتر است [۱۷ و ۱۸]. افزایش مدول در نانو چندسازه‌های رسی مستقیماً به طول رس و در نتیجه به نسبت ابعادی آن‌ها وابسته است [۲۵]. همچنین با افزایش مقدار نانورس و وجود مورفولوژی



شکل ۱- مقاومت خمشی (a) و مدول الاستیسیته خمشی (b) در تیمارهای ۵ گانه

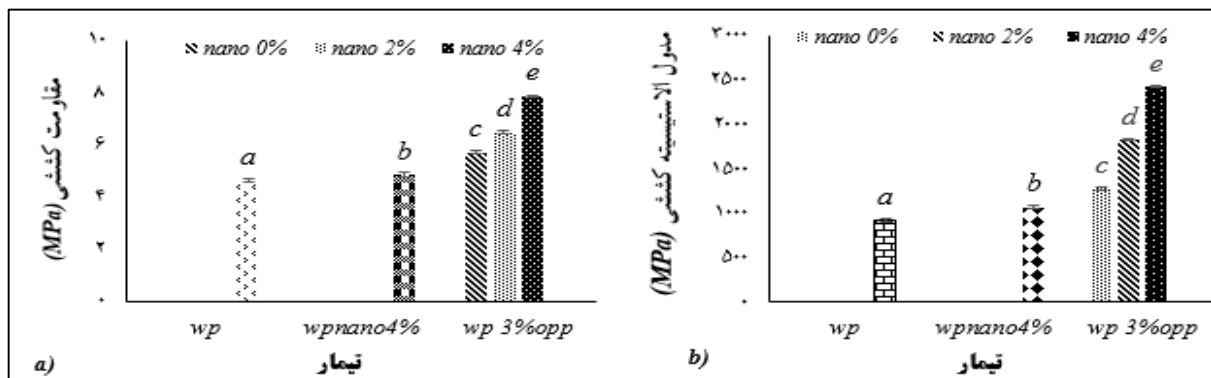
مقاومت و مدول کششی شده است. سازگار کننده باعث سازگاری بیش تر فاز طبیعی و پلیمری و اتصال بهتر بین آن‌ها شده و این عمل باعث بالا رفتن مقاومت کششی شده

#### مقاومت و مدول کششی

همان‌طور که در شکل ۲ مشاهده می‌شود استفاده از پلی پروپیلن اکسید شده (سازگار کننده) باعث افزایش

گروه‌های قطبی الیاف سلولزی است. همچنین در تیمارهای دارای سازگارکننده و ذرات نانورس علاوه بر تأثیر ماده سازگارکننده (پلی‌پروپیلن اکسیدشده) بر افزایش مقاومت و مدول الاستیسیته چندسازه، می‌توان به ضریب لاغری بالای ذرات نانورس و تشکیل ساختار بین لایه‌ای اشاره کرد [۲۰]. Shokrieh و همکاران (۲۰۰۷) طی تحقیقی اظهار داشتند که عوامل ساختاری مختلفی نظیر نسبت حجم، ضریب ظاهری نانورس، فاصله افقی بین ذرات و مقدار درهم‌رفتگی ذرات نانورس نیز بر خواص مکانیکی کامپوزیت‌های حاوی ذرات نانورس تأثیر فراوانی دارد [۴]. نتایج به‌دست‌آمده با مطالعات انجام‌شده توسط Zahedi و همکاران (۲۰۱۳) و Reisi Nafchi و همکاران (۲۰۱۵) مطابقت دارد [۲۴ و ۱۳].

است زیرا چندسازه‌ای که دارای سازگاری بیش‌تری در بین اجزاء مختلف خود باشد، مقاومت بهتری را در مقابل تنش‌ها از خود نشان می‌دهد [۱۲]. همچنین حضور ذرات نانورس در ساختار چندسازه‌ها نقش بسزایی را ایفا می‌کند. به‌طوری‌که با افزایش درصد نانورس ساختمان‌های جدید درهم‌رفته و توده‌های رسی در نانوچندسازه تشکیل می‌شوند، زیرا ذرات نانورس به علت تشکیل اتصالات قوی با ماتریس پلیمری موجب افزایش مدول و مقاومت کششی در چندسازه می‌گردند [۲۲ و ۲۳]. لذا در تیمارهای دارای سازگارکننده و فاقد ذرات نانورس افزایش مدول و مقاومت کششی را می‌توان به بهبود اتصال بین الیاف چوب (فاز قطبی) و پلی‌پروپیلن (فاز غیرقطبی) نسبت داد که این امر، ناشی از اثر متقابل گروه‌های قطبی سازگارکننده و



شکل ۲- مقاومت کششی (a) و مدول الاستیسیته کششی (b) در تیمارهای ۵ گانه

به بهبود چسبندگی بین پلی‌پروپیلن و الیاف چوب نسبت داد به‌طوری‌که استفاده از سازگارکننده تمرکز تنش را کاهش و همچنین انرژی موردنیاز برای ایجاد ترک را افزایش می‌دهد [۱۳]. ولی برخلاف دیگر مقاومت‌های مکانیکی افزودن ذرات نانورس سبب کاهش مقاومت به ضربه می‌گردد که دلیل این امر، به ساختار بلورین و افزایش ساختارهای کریستالینه در چندسازه مربوط می‌گردد. از طرفی به نظر می‌رسد تجمع و تراکم توده‌های رس در تشکیل مناطق با تمرکز تنش بالا از یک‌طرف و عدم تشکیل ساختار ورقه‌ای از طرف دیگر از جمله دلایل کاهش مقاومت به ضربه بدون فاق چندسازه‌ها است؛ زیرا ذرات نانورس نواحی تمرکز تنش و نقاط شکست را ایجاد

### مقاومت به ضربه بدون فاق

مقایسه بین تیمارهای مختلف در شکل ۳ نشان می‌دهد که استفاده از سازگارکننده سبب افزایش معنی‌داری در مقاومت به ضربه شده است ولی برخلاف دیگر مقاومت‌های مکانیکی افزودن ذرات نانورس سبب کاهش مقاومت به ضربه می‌گردد. به‌طورکلی مقاومت به ضربه، به‌عنوان معیاری از توانایی چندسازه در برابر انرژی اعمال‌شده ناگهانی تعریف می‌شود. شکاف‌ها از نقاطی که تمرکز تنش بالا باشد شروع می‌شوند مانند مناطق دارای عیوب و یا نقاطی که اتصالات بین دو فاز خیلی ضعیف است. یکی از دلایل عمده افزایش مقاومت به ضربه در نمونه‌های دارای سازگارکننده و فاقد ذرات نانو را می‌توان

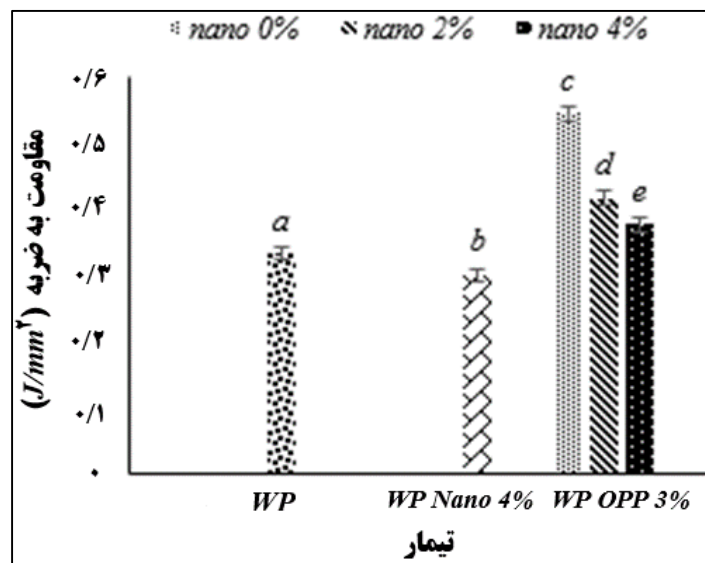
افزایش جذب آب و واکنشیدگی ضخامت در زمان‌های اولیه غوطه‌وری با شدت بیش‌تری بوده و به‌تدریج این روند افزایشی، کاهش پیدا کرده است. هم‌چنین بر اساس نتایج مشخص شد که نمونه‌های حاوی سازگارکننده نسبت به نمونه‌های فاقد سازگارکننده در زمان نسبتاً طولانی‌تری به حداکثر جذب آب و واکنشیدگی ضخامت رسیدند ضمن این‌که جذب آب کم‌تری از خود نشان دادند. چراکه ماده سازگارکننده با تشکیل گروه‌های قطبی علاوه بر حذف گروه‌های OH قابل‌دسترس، خاصیت آب‌دوستی الیاف را به آب‌گریزی تبدیل می‌کند به‌نحوی که با بلوکه کردن گروه‌های هیدروکسیل آزاد، میزان جذب آب و واکنشیدگی ضخامت در چندسازه‌ها بهبود می‌یابد. درواقع سازگارکننده‌ها با افزایش اتصالات و چسبندگی بین دو فاز، باعث ثبات ابعادی بیش‌تر می‌گردند [۲۵ و ۱۵].

می‌کنند، درنتیجه مقاومت به ضربه کاهش پیدا می‌کند و هم‌چنین حضور ذرات نانورس انرژی جذب‌شده توسط چندسازه را افزایش می‌دهد ازاین‌رو افزایش مقدار ذرات نانورس مناطقی را در ماتریس پلیمری به وجود می‌آورد که موجب تمرکز تنش شده و رشد ترک را از آن ناحیه آغاز می‌کند [۲۰، ۴، ۳].

### خواص فیزیکی

#### جذب آب و واکنشیدگی ضخامت بلندمدت

روند جذب آب و واکنشیدگی ضخامت بلندمدت تیمارهای ۵ گانه مورد مطالعه در اشکال ۴ و ۵ نشان داده شده است. همان‌طور که از شکل نیز مشخص است، در همه نمونه‌ها با گذشت زمان غوطه‌وری، جذب آب و واکنشیدگی ضخامت افزایش یافته است؛ به‌طوری‌که روند



شکل ۳- مقادیر مقاومت به ضربه بدون فاق در تیمارهای ۵ گانه

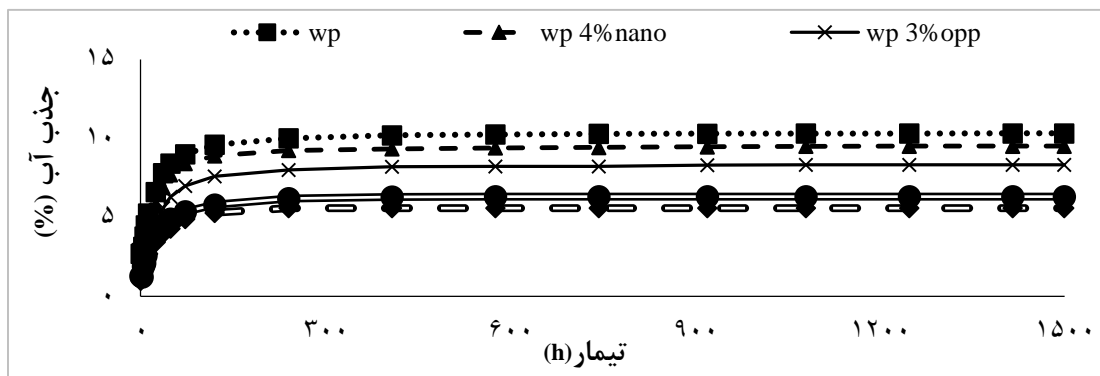
هم‌چنین خاصیت هسته‌زایی نانورس موجب تشکیل ساختارهای بلوری در چندسازه می‌گردد و این مسئله در کاهش روند جذب آب چندسازه نقش مهمی دارد [۱۸]. از طرف دیگر نیز ذرات نانورس به‌واسطه اندازه کوچک خود، فواصل و شکاف‌های ریزبین الیاف و پلیمر و هم‌چنین حفرات سلولی را پر کرده و مانع نفوذ آب به کامپوزیت می‌گردد [۱۰]. هم‌چنین در این تحقیق ملاحظه گردید

از مقایسه نمونه‌های دارای ذرات نانورس و فاقد سازگارکننده با نمونه‌های فاقد ذرات نانورس و سازگارکننده چنین استنباط می‌شود که نمونه‌های دارای ذرات نانورس به دلیل ویژگی‌های آب‌گریزی نانو، جذب آب و واکنشیدگی ضخامت کم‌تری را از خود نشان دادند. به‌طوری‌که افزودن ذرات نانورس در کامپوزیت به علت طبیعت آب‌گریز سطح رس، ایجاد دالان‌های رسی و

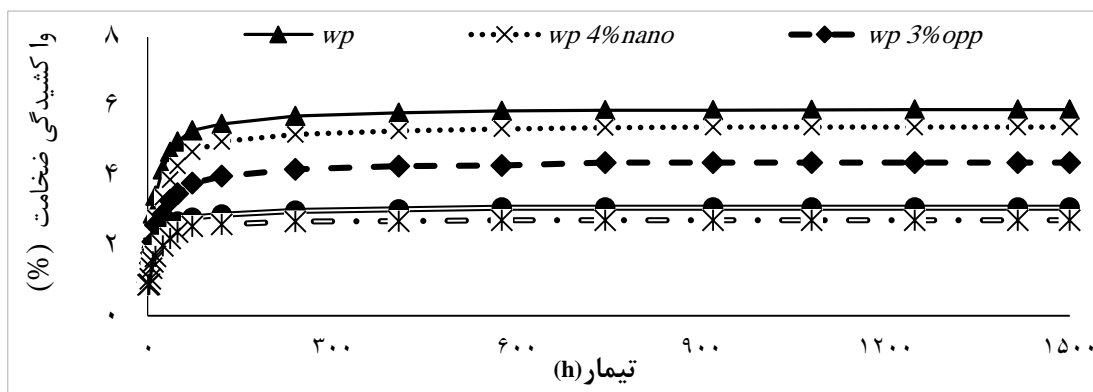


همکارانشان (۲۰۰۵) و Reisi Nafchi و همکارانشان (۲۰۱۵) نشان داد که با افزایش درصد ذرات نانوس در کامپوزیت چوب پلاستیک، کلیه خواص فیزیکی به طور فراوانی بهبود می یابد [۲۶ و ۱۳]. همچنین نتایج به دست آمده در این تحقیق با بررسی های انجام شده توسط Reddy و همکاران (۲۰۱۰)، Tabari و همکاران (۲۰۱۱) و Zahedi و Tabarsa (۲۰۱۴) مطابقت دارد [۲۷، ۲۳، ۱۸].

استفاده هم زمان از پلی پروپیلن اکسید شده به عنوان سازگار کننده و ذرات نانوس به عنوان پرکننده سبب کاهش جذب آب و واکنش پذیری ضخامت در چندسازه چوب پلاستیک گردید که دلیل این امر ایجاد پوشش نازکی از عناصر آب گریز بر روی سطح مواد سلولزی آب دوست است و در نتیجه جذب آب و واکنش پذیری ضخامت الیاف پوشش یافته کاهش می یابد. بررسی نتایج تحقیقات Liu و



شکل ۴- نمودار جذب آب طولانی مدت چندسازه چوب پلاستیک



شکل ۵- نمودار واکنش پذیری ضخامت طولانی مدت چندسازه چوب پلاستیک

پلیمر چندسازه های حاصل می گردد [۵]. در طیف FTIR در نواحی  $3448\text{ cm}^{-1}$ ،  $1776\text{ cm}^{-1}$ ،  $1714\text{ cm}^{-1}$ ،  $1164\text{ cm}^{-1}$  و  $3448\text{ cm}^{-1}$  پیک های نسبتاً تندی مشاهده می شود که باند جذبی در ناحیه  $3448\text{ cm}^{-1}$  را می توان به مد کششی پیوند هیدروژنی و هیدروکسیل الکل نسبت داد و مد کششی در ناحیه  $1700-1780\text{ cm}^{-1}$  به گروه های کربونیل انیدریدی، کتون و آلدیدی و مد کششی در ناحیه  $1164\text{ cm}^{-1}$  به گروه های استری مربوط می شود [۵، ۱۷، ۱۸].

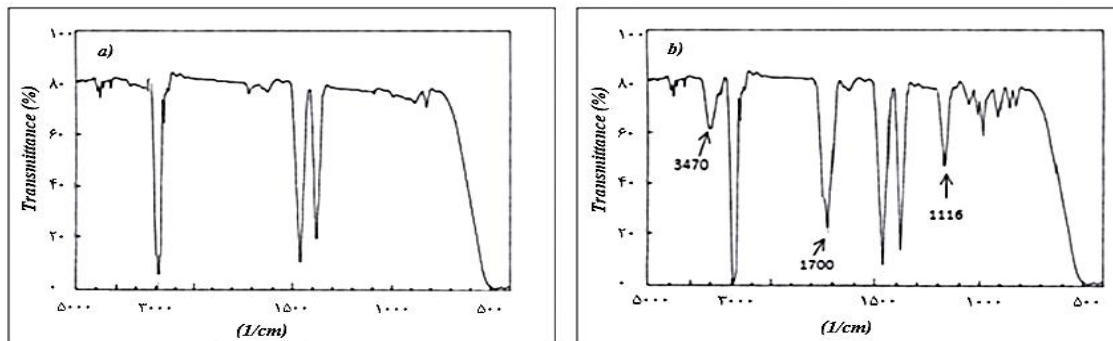
### طیف FTIR اکسیداسیون

طیف جذبی FTIR پلی پروپیلن اکسید نشده و اکسید شده (در فاز مذاب و مدت زمان ۲ ساعت) در شکل ۶ نشان داده شده است. با توجه به این که پلی پروپیلن در حالت طبیعی فاقد گروه های قطبی است، طی فرآیند اکسیداسیون دسته ای از عوامل قطبی نظیر گروه های کتون، کربوکسیلیک اسید و استری در پلی پروپیلن ایجاد می شود که باعث افزایش چسبندگی بین دو بخش طبیعی و

افزایش یافته است. پیک پراش اشعه ایکس نانورس خالص در زاویه  $2\theta = 4/89$  دارای فاصله بین لایه‌های  $20/986$  نانومتر است که با افزودن نانورس به کامپوزیت تا ۲ درصد، پیک پراش اشعه ایکس به سمت عقب کشیده شده است به طوری که پیک تند در زاویه  $2\theta = 4/13$  با فاصله بین لایه‌های  $24/84$  نانومتر ایجاد شده است.

### طیف پراش پرتو اشعه ایکس (XRD)

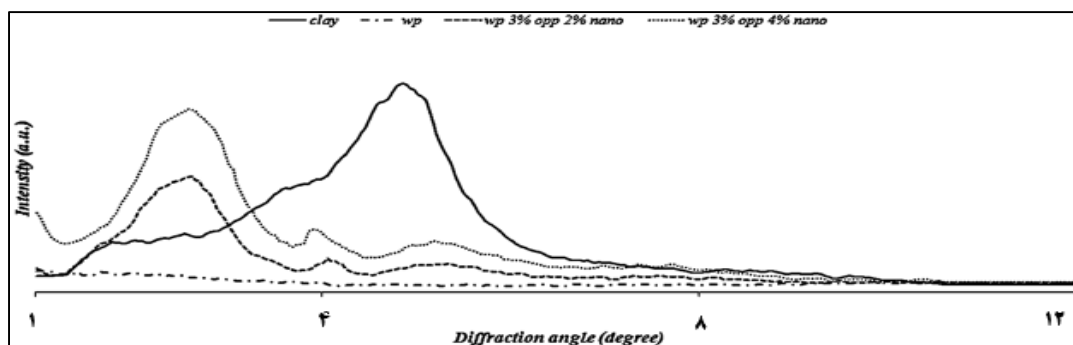
نتایج بررسی طیف‌های XRD نشان داد که استفاده از نانورس باعث افزایش فاصله بین لایه‌های سیلیکاتی و تشکیل ساختار بین لایه‌ای<sup>۱</sup> در چندسازه شده است. همان‌طور که در شکل ۷ مشاهده می‌شود با افزایش مقدار نانورس از ۰ به ۴ درصد فاصله بین لایه‌های سیلیکاتی



شکل ۶- طیف FTIR پلی پروپیلن اکسیدنشده (a) طیف FTIR پلی پروپیلن اکسیدشده (b)

پلیمری افزایش یافته ولی کاملاً از هم گسیخته نشده‌اند. این در حالی است که اگر ساختار کامپوزیت از نوع ساختار لایه‌لایه‌ای باشد به دلیل متلاشی شدن ساختار بلوری، پیک نانورس در منحنی نمودار باقی نمی‌ماند. به عبارت دیگر فاصله بین لایه‌های سیلیکاتی نانورس به دلیل بهبود سطح مشترک افزایش یافته، ولی از هم گسیختگی کامل رخ نداده است. یافته‌های این پژوهش با نتایج Kord (۲۰۰۹) و Wang و همکاران (۲۰۰۵) Zaheddi و همکاران (۲۰۱۴) و Reisi Nafchi و همکاران (۲۰۱۵) همخوانی دارد [۲۹، ۲۸، ۱۳].

همچنین با افزایش ذرات نانورس تا ۴ درصد، پیک پراش اشعه ایکس تا زاویه  $2\theta = 3/93$  کم‌تر شده و فاصله بین لایه‌های رسی به  $26/1$  نانومتر افزایش یافته است؛ بنابراین با توجه به نتایج آزمون اشعه ایکس این‌گونه می‌توان استدلال کرد که با افزایش ذرات نانورس در کامپوزیت، فاصله بین لایه‌های سیلیکاتی افزایش یافته ولی به گونه‌ای که پیک‌های نمودار از بین نرفته و صرفاً به  $2\theta$  های عقب‌تر کشیده شده است که نشان از ساختار بین لایه‌ای در کامپوزیت دارد. به عبارت دیگر فاصله بین لایه‌های سیلیکاتی نانورس به دلیل نفوذ زنجیره‌های



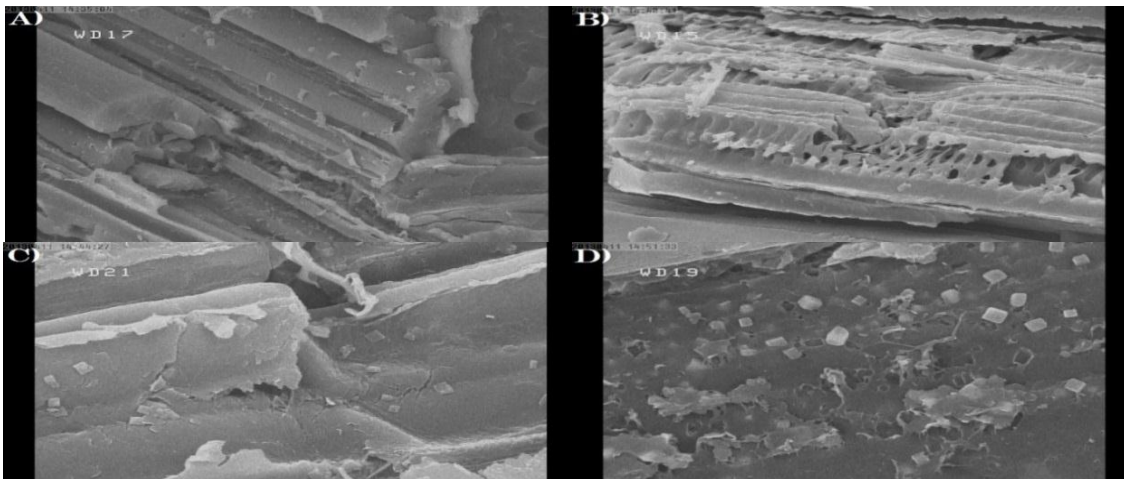
شکل ۷- طیف پراش پرتو اشعه ایکس

## میکروسکوپ الکترونی روبشی گسیل میدانی

(FESEM)<sup>۱</sup>

شکل ۸ تصاویر میکروسکوپی تیمارهای مختلف چندسازه را نشان می‌دهد. بر اساس بررسی تصاویر مشاهده می‌شود که در تیمار فاقد سازگارکننده و نانورس (شکل a)، فاز طبیعی (آرد گیاه نی) کم‌ترین میزان چسبندگی با ماتریس را دارا می‌باشند به نحوی که سطح شکست چندسازه دارای چسبندگی ضعیف و ناهمگنی‌های نسبتاً زیادی است که در تصاویر میکروسکوپی به صورت پرز مانند و لایه‌های جدا از هم دیده می‌شود که نشان‌دهنده نرمی پلاستیک و شکست در این ناحیه است. به عبارت دیگر بدون استفاده از

سازگارکننده دو فاز تمایلی به اختلاط با یکدیگر ندارند و به شکل دو فاز مجزا، مشاهده می‌شوند. از طرفی دیگر حضور سازگارکننده (b) سبب بهبود همبستگی بین فاز طبیعی و فاز پلیمری شده است و ماده سازگارکننده، این دو فاز را در بر گرفته و تراکم بین این دو فاز افزایش یافته است به گونه‌ای که سطح شکست نمونه‌ها نسبت به نمونه‌های فاقد سازگارکننده هموارتر و یکنواخت‌تر بوده و سطوح پرز مانند کم‌تری در آن‌ها دیده می‌شود و شکست در الیاف و پلیمر به صورت هم‌زمان دیده می‌شود. همچنین چسبندگی بین فاز طبیعی و پلیمری با افزودن ذرات نانورس (c و d) بهبود یافته و در نتیجه باعث کاهش حفره‌ها و ذرات بیرون آمده از متن پلیمر زمینه شده است.



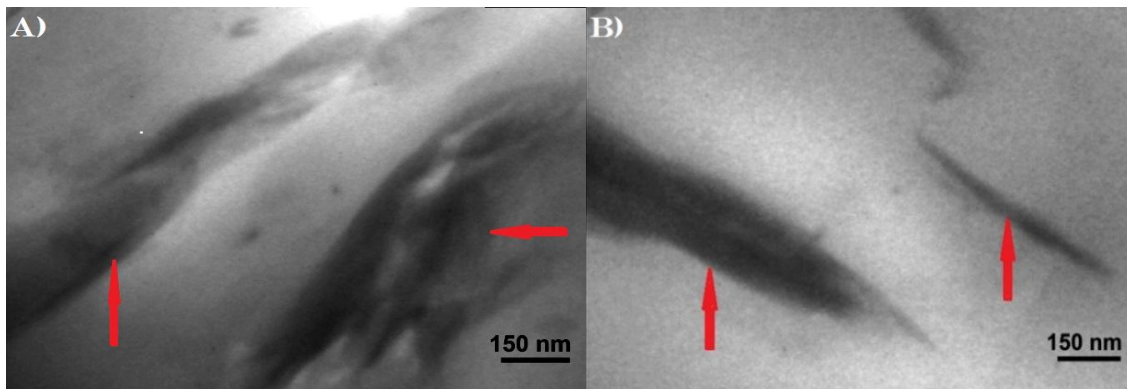
شکل ۸- چندسازه الیاف نی/پلی پروپیلن / بدون سازگار کننده (a)، چندسازه الیاف نی/پلی پروپیلن / سازگار کننده (b)، چندسازه الیاف نی/پلی پروپیلن / سازگار کننده/۴ نانورس (c)، چندسازه الیاف نی/پلی پروپیلن / سازگار کننده/۲ نانورس (d)

پلیمر است که نشان‌دهنده این مطلب است که لایه‌های نانورس به‌طور کامل از همدیگر جدا نشده‌اند و این عدم جدایش کامل لایه‌های نانورس موجب ایجاد ساختار بین‌لایه‌ای در چندسازه‌ها شده است که این نتایج توسط نتایج آزمون XRD نیز تأیید شده است. یافته‌های این پژوهش با نتایج Kord (۲۰۰۹) و Reisi Nafchi و همکاران (۲۰۱۵) همخوانی دارد [۲۸ و ۱۳].

## میکروسکوپ الکترونی انتقالی (TEM)

به‌منظور مشاهده دقیق‌تر ساختار چندسازه و تأیید نتایج آزمون اشعه ایکس، از تصاویر میکروسکوپ الکترونی انتقالی استفاده گردید. شکل ۹ به ترتیب مربوط به تصاویر TEM چندسازه‌های حاوی ۲ و ۴ درصد نانورس است. همان‌طور که مشاهده می‌شود خطوط تاریک مربوط به لایه‌های نانورس و نواحی روشن‌تر مربوط به فاز ماتریس

1 - Field Emission Scanning Electron Microscopy.



شکل ۹- چندسازه الیاف نی/پلی پروپیلن / سازگار کننده /۲٪ نانورس (a)، چندسازه الیاف نی /پلی پروپیلن / سازگار کننده /۴٪ نانورس (b)

یک مقدار معین در بهبود خواص چندسازه چوب پلاستیک از خود نشان داد.

- استفاده از ذرات نانورس سبب بهبود کلیه خواص مکانیکی و فیزیکی چندسازه به استثنای مقاومت به ضربه گردید.

### سپاسگزاری

مؤلفان مراتب سپاس و قدردانی خود را از حمایت مالی دانشگاه زابل بر اساس قرارداد پژوهانه به شماره UOZ-GR-9517-39 تقدیم می‌دارند.

### نتیجه‌گیری

در این مطالعه اثر پلی پروپیلن اکسیدشده به عنوان سازگارکننده و ذرات نانورس در بهبود خواص مکانیکی و فیزیکی چندسازه حاصل از الیاف نی- پلی پروپیلن مورد بررسی قرار گرفت. لذا از بحث بالا این گونه می‌توان استنباط کرد که:

- استفاده از سازگارکننده سبب بهبود کلیه خواص مکانیکی و فیزیکی چندسازه گردید. لذا می‌توان اظهار داشت که پلی پروپیلن اکسیدشده در فاز مذاب به عنوان سازگارکننده عملکرد خوبی را در

### منابع

- [1] Madhoushi, M., Dahmardeh New Castle, CE. and Vtbrsa, d., 2008. Internal Bond Strength, Thickness Swelling and Water Absorption in Wood, 3-Layer Made of a Mixture of Straw (Surface layer) and Commercial Types (middle layer). First National Conference of Raw Materials and the Development of the Country's Wood and Paper industry. December 13-12. Gorgan University of Agriculture and Natural Resources. (In Persian).
- [2] Lu, J.Z., Wu, Q. and Negulescu, I., 2005. Wood-Fiber/High-Density-Polyethylene Composites: Coupling Agent Performance. Journal of Applied Polymer Science, 96(1): 93-102.
- [3] Fu, J., Naguib, H.E., 2006. Effect of Nano clay on the Mechanical Properties of PMMA/Clay Nano composites Foams, Journal of Cellular Plastic, 42(4): 325-342.
- [4] Shokrieh, M. and Sonbolestan, A., 2007. Effects of Structural Parameters on Mechanical Properties Polymer/Clay Nano composites. Journal of Polymer Science and Technology, 20(2): 187-195.
- [5] Abdouss, M., SHarifi-Sanjani, N. and Bataille, P., 1999. Oxidation of Polypropylene in a Solution of Monochlorobenzene. Journal of Applied Polymer Science, 47 (14): 3417-3427
- [6] Carlsson, D.J., Brousseau, R. and Wiles, D.M., 1986. Reaction of Sulfur Dioxide with Oxidized Polyolefin. Journal of Polymer Degradation and Stability, 15(1): 67-79.

- [7] Shlyapnikov, Y., Mar'in, A. and Eur, A.P., 1987. New Phenomena Observed on Dissolution of Low-Molecular Compounds in Polymers: Antioxidant Solubility. *Journal of Polymer*, 23(8): 629-632.
- [8] Kazemi Najafi, S., Bahra, A. and Abdouss, M., 2010. Effect of Oxidized Polypropylene as a New Compatibilizer on Water Absorption and Mechanical Properties of Wood Flour/Polypropylene Composites. *Journal of Applied Polymer Science*, 119(1): 438-432.
- [9] Adhikary, K.B., Pang, S. and Staiger, M.P., 2008. Long-term Moisture Absorption and Thickness Swelling Behavior of Recycled Thermoplastics Reinforced with *Pinus radiata* sawdust. *Journal of Chemical Engineering*, 142 (2): 190-198.
- [10] Xue, Y., Veazie, D., Glinsey, C., Wright, M. and Rowell, R.W., 2003. Mechanical and Physical Properties of Wood Fiber Composite under the Influence of Temperature. *The 7 International Conference on Wood Fiber- Plastic Composites and other Natural Fiber*. May 19-20, Madison, Wisconsin, USA: 339-343.
- [11] Broysiak, S., Paukszta, D. and Helwig, M., 2006. Flammability of Wood-Polypropylene Nano composites. *Polymer Degradation and Stability*, 91(12): 3339-3343.
- [12] Han, G., Lei, Y., Wu, Q., Kojima, Y. and Suzuki, S., 2008. Bamboo-Fiber Filled High Density Polyethylene Composites; Effect of Coupling Treatment and Nano-clay. *Journal of Polymer and the Environment*, 16 (2): 123-130.
- [13] Reisi Nafchi, H., Abdouss, M., Kazemi Najafi, S., Mohebbi gargari, R. and Mazhar, M., 2015. Effects of Nano-clay Particles and Oxidized Polypropylene Polymers on Improvement of the Practical Properties of Wood-Polypropylene Composite. *Advanced Composite Materials*, 24(3): 239-248.
- [14] Wang, H., Zheng, C., Elkovitch, M., Lee, J. and Koelling, K.W., 2001. Processing and Properties of Polymeric Nano composites. *Journal of polymer Engineering Science*, 41(11), 246-246.
- [15] Wang, L.; Wang, K.; Chen, L.; Zhang, Y., He, C., 2006. Preparation, Morphology and Thermal/Mechanical Properties of Epoxy/ Nano-clay Composite. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 37(11): 1890-1896.
- [16] Wu, Q., Lei, Y., Clemons, C.M., Yao, F., Xu, y. and Lian, K., 2007. Proportions of HDPE/Clay/Wood Nano composites. *Journal of Plastic Technology*, 27(2), 108-115.
- [17] Karimzadeh, F., Ghasemali, OR. and Salehzadeh, SA., 2005. Nano-materials, Properties, Production and Application. *Scientific Jihad Center of Esfahan University*. 169 Pp. (In Persian).
- [18] Reddy, C.R., Sardashti, A.P. and Simon, L.C., 2010. Preparation and Characterization of Polypropylene–Wheat Straw–Clay Composites. *Composites Science and Technology*, 70(12): 1674-1680.
- [19] Kord, B., Ekrami, M. and Roohani, M., 2014. Effect of Nano-clay Particles Content on the Mechanical Properties of Wood Flour-Polypropylene Composites Using Dynamic Mechanic Thermal Analysis. *Iranian Journal of Wood and Paper Industries*, 5(2):15-26.
- [20] Haghpanah, M., Nosrati Sheshkal, B., Farrokhpayam, S.R. and Mohebbi Gargari, R., 2015. The Effect of Using the Textile Waste Fibers and Nano-Clay Particles on Physical and Mechanical Properties of Composite Made from Wood Flour/Polypropylene. *Iranian Journal of Wood and Paper Industries*, 6(1):15-26.
- [21] Deshmane, C., Yuan, Q. and Misra, R.D.K., 2007. High Strength-Toughness Combination of Melt Intercalated Nano-Clay Reinforced Thermoplastic Olefins. *Journal of Material Science Engineering: A*, 460-461(7): 277-287.
- [22] Sain, M., Suhara, P., law, S. and Bloulloux, A., 2005. Interface Modification and Mechanical Properties of Natural Fiber-Polyolefin Composite Products. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 24(2): 121-130.
- [23] Zahedi, M. and Tabarsa, T., 2014. Physico-Mechanical and Morphological Properties of Nano Composite Made from Canola Stalk. *Iranian Journal of Wood and Paper Science Research*, 28(4): 742-754. (In Persian).
- [24] Zaheddi, M., Tabarsa, T., Madhoushi, M. and Shakeri, A.R., 2013. Effect of Nano-clay (Montmorillonite) on the Physical-Mechanical Properties of Polypropylene/Wood Flour Composites. *Journal of Wood & Forest Science and Technology*, 20(3): 96-110.

- [25] Kraby, M., Ghasemi, A. and Mohammadi, M., 2007. Optimization and Use of Nano Fillers in Plastic Compounds. Final Report of the Research Committee of the Ministry of Science and Nanotechnology, Iran Polymer and Petrochemical Institute, Iran, 191p.
- [26] Liu, W., Hoa, S.V. and Pugh, M., 2005. Fracture Toughness and Water Uptake of High-Performance Epoxy/Nano Clay Nano Composites. *Journal of Composites Science and Technology*, 65(15-16): 2364-2373.
- [27] Ziaei Tabari, H., Nourbakhsh, A. and Ashore, A., 2011. Effects of Nano Clay and Coupling Agent on the Physico-Mechanical, Morphological, and Thermal Properties of Wood Flour/Polypropylene Composites. *Journal of Polymer Engineering & Science*, 51(2): 272-277.
- [28] Kord, B., 2009. Improvement of Practical Properties of Wood Polymer Composite with Nano clay Particles. *Journal of Engineering Materials*, 1(4): 375-383.
- [29] Wang, L., Chen, L., Zhang, Y. and He, C., 2005. Preparation, Morphology and Thermal/Mechanical Properties of Epoxy/Nano clay Composite. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 37(11): 1890-1896.

## The effect of nano-clay particles and compatibilization of oxidized polypropylene in molten phase on the mechanical and physical properties of wood plastic composite

### Abstract

The purpose of the research was to examine the effect of nano-clay particles and compatibilization of oxidized polypropylene in molten phase on the mechanical and physical properties of wood-plastic composite made from polypropylene and *Phragmites australis* flour. For this purpose, polypropylene in molten phase was oxidized in the vicinity of air oxygen and 1-dodecanol alcohol for 2 hours. Then *Phragmites australis* flour with the weight ratio of 50% and the polymer phase was mixed with the compatibilizer at two levels (0 and 3%) and nano-clay particles at three levels (0, 2, 4%) in an internal mixer for 6 min under the temperature of 165°C. Finally, the test specimens were prepared by using the hot press with the dimensions of 150×150×2 mm. The mechanical and physical properties including tensile and flexural modulus and strengths, Izod impact strength, long term water absorption and thickness swelling were examined according to ASTM standards. The results showed that the using oxidized polypropylene as compatibilizer improves all physical and mechanical properties of the composite. They also showed that increasing nano-clay particles, the physical and mechanical properties of the wood-plastic composite improve, except for the Izod impact strength. The structural studies of composite and the way the nanoparticles are distributed using x-ray diffraction spectroscopy and SEM images showed that the distribution of nano-clay particles in polymer matrix is of the type of intercalated structures.

**Key words:** wood-plastic composite, nano-clay, oxidized polypropylene, SEM, *Phragmites australis*.

**B. Nosrati Sheshkal<sup>1</sup>**  
**F. Dehdast<sup>2</sup>**  
**R. Mohebbi Gargari<sup>3</sup>**  
**M. Abdouss<sup>4</sup>**

<sup>1</sup> Assistant Prof., Department of wood and paper science and technology, Faculty of natural resources, University of Zabol, Zabol, Iran

<sup>2</sup> M.Sc. Graduated, Department of Wood and Paper Science and Technology, Faculty of Natural Resources, University of Zabol, Zabol, Iran

<sup>3</sup> Lecturer, Department of wood and paper science and technology, Faculty of natural resources, University of Zabol, Zabol, Iran

<sup>4</sup> Professor, Department of chemical, Faculty of chemical, Amirkabir university, Tehran, Iran

Corresponding author:  
[nosrati.babak@uoz.ac.ir](mailto:nosrati.babak@uoz.ac.ir)

Received: 2017/08/15

Accepted: 2017/11/13

