

جنگل و فرآورده‌های چوب، مجله منابع طبیعی ایران  
دوره ۶۹، شماره ۱، بهار ۱۳۹۵

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۱۰/۰۷

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۰۹/۰۳

ص ۱۶۱-۱۷۱

## تأثیر ذرات نانورس و سازگارکننده بر مقاومت به پوسیدگی کامپوزیت چوب پلاستیک

- ❖ **هاجر رئیسی نافچی\***: دانشجوی کارشناسی ارشد گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس، نور، ایران
- ❖ **مجید عبدوس**: استاد گروه شیمی، دانشکده شیمی، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ایران
- ❖ **سعید کاظمی نجفی**: استاد گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس، نور، ایران
- ❖ **رحیم محبی گرگری**: مربی گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه زابل، زابل، ایران

### چکیده

این تحقیق با هدف بررسی تأثیر استفاده از ذرات نانورس و پلی‌پروپیلن اکسیدشده به‌عنوان سازگارکننده بر مقاومت کامپوزیت چوب پلاستیک در برابر قارچ پوسیدگی سفید انجام گرفت. ابتدا به‌منظور تهیه پلی‌پروپیلن اکسیدشده، پلی‌پروپیلن در مجاورت اکسیژن هوا به مدت ۲ ساعت در دستگاه مخلوط‌کن داخلی اکسید شد. سپس با مخلوط مواد (الیاف چوب، پلی‌پروپیلن، ذرات نانورس و سازگارکننده) با نسبت‌های مشخص در مخلوط‌کن داخلی، صفحات کامپوزیت چوب پلاستیک در ابعاد  $150 \times 150 \times 2$  mm با استفاده از پرس گرم آزمایشگاهی تهیه شد. در ادامه، آزمون پوسیدگی با استفاده از قارچ مولد پوسیدگی سفید به‌نام رنگین‌کمان (*Coriolus versicolor*) انجام گرفت. نتایج نشان داد که استفاده از نانورس سبب افزایش مقاومت به پوسیدگی نمونه‌ها و کاهش وزن آنها در اثر این نوع تخریب شد. همچنین تیمارهای فاقد سازگارکننده نسبت به تیمارهای دارای سازگارکننده، کاهش وزنی بیشتری داشتند. بررسی نوع فازها و مورفولوژی کامپوزیت حاوی ذرات نانورس به کمک پراش پرتو ایکس و میکروسکوپ الکترونی انتقالی نشان داد که توزیع ذرات نانورس در زمینه پلیمری از نوع ساختار بین‌لایه‌ای است که خود گواهی بر پایداری بهتر این دسته از کامپوزیت‌ها در برابر حمله قارچ رنگین‌کمان است.

**واژگان کلیدی:** پلی‌پروپیلن اکسیدشده، سازگارکننده، قارچ رنگین‌کمان، کامپوزیت چوب-پلاستیک، نانورس.

## مقدمه

چوب در کنار ویژگی‌های برتری که نسبت به سایر مواد و مصالح ساختمانی همچون آهن، فولاد، آلومینیوم و پلاستیک دارد، به معایبی طبیعی نیز دچار است. در رأس این معایب، خاصیت جذب و دفع آب است که موجب واکنشیدگی و هم‌کشیدگی چوب و در نتیجه ناپایداری ابعاد آن می‌شود. از دیگر معایب چوب، تخریب آن توسط قارچ‌ها، باکتری‌ها و حشرات است. بنابراین برای بهبود خواص چوب و رفع معایب اشاره‌شده، روش‌های گوناگون اصلاح و حفاظت چوب به وجود آمده است. یکی از روش‌های اصلاح چوب، اشباع آن با مونومر و سپس ساخت کامپوزیت چوب پلاستیک است [۱].

کامپوزیت‌های چوب پلاستیک که به اختصار WPCs نامیده می‌شوند، گروه جدیدی از مواد مرکب‌اند که در طی سال‌های اخیر بسیاری از محققان و نیز بخش عمده‌ای از صنعت به آن توجه نشان داده‌اند. کامپوزیت چوب پلاستیک از ترکیب دو فاز طبیعی (چوب و دیگر مواد لیگنوسلولزی) و مصنوعی (پلیمر) تشکیل شده و ویژگی‌های هر دو ماده اصلی تشکیل دهنده‌اش را داراست. این کامپوزیت‌ها علاوه بر مزایای فراوان (سبکی و قابلیت حمل آسان، مقاومت در برابر ضربه و خش، مقاومت در برابر حرارت‌های زیاد و ...) خاصیت‌نم‌پذیری نیز دارند که از معایب عمده آن‌ها به حساب می‌آید [۲].

وجود رطوبت در چوب و فراورده‌های آن سبب رشد و تکثیر انواع قارچ‌ها و باکتری‌ها می‌شود. خسارت ناشی از پوسیدگی قارچ‌ها در سراسر جهان بسیار زیاد است، به نحوی که سبب آلودگی و فساد درختان سرپا،

گرده‌بینه‌های قطع‌شده در جنگل یا انبار کارخانه، چوب‌آلات استحصال‌شده و نیز در طی عملیات خشک‌کنی و حتی در چوب‌آلات به‌کاررفته در مصارف نهایی و مواد مرکب می‌شوند. جریان پوسیدگی چوب توسط موجودات، خیلی متنوع است و به عامل پوسیدگی، گونه گیاهی و حتی قلمرو میکروبی در داخل بستره بستگی دارد. قارچ‌های مولد پوسیدگی براساس نوع پوسیدگی‌ای که تولید می‌کنند به سه نوع عمده پوسیدگی قهوه‌ای، پوسیدگی سفید و پوسیدگی نرم دسته‌بندی می‌شود. قارچ رنگین‌کمان یکی از انواع قارچ مولد پوسیدگی سفید است و از تمامی مواد ساختمانی چوب استفاده کرده و رشد می‌کند. این قارچ با نام علمی *Trametes versicolor* و با نام‌های انگلیسی *Turky Rainbow tail* از خانواده *Coriolaceae* و از گروه قارچی *Bracket fungi* است [۳].

در زمینه بررسی اثر قارچ‌ها بر خواص مواد مرکب حاصل از چوب، تحقیقات زیادی صورت گرفته است که در زیر به برخی از آنها اشاره می‌شود:

بهزادی شهربابک و همکاران (۲۰۱۴) با بررسی خواص فیزیکی و مقاومت به پوسیدگی چندسازه نانورس-پلی‌اتیلن-نرمه تخته فیبر دانسیته متوسط بیان کردند که افزودن نانورس و ماده سازگارکننده به ترکیب چندسازه چوب پلاستیک، موجب بهبود دوام طبیعی و خواص فیزیکی چندسازه چوب پلاستیک می‌شود [۳]. پژوهش‌ها در زمینه اثر ذرات نانوقره، بورون، مس و روی بر مقاومت به رشد کپک و پوسیدگی ناشی از قارچ سفید در تخته خرده‌چوب و چوب ماسیو نشان داد که استفاده از نانوذرات اثر مثبتی بر مقاومت به پوسیدگی دارد، به نحوی که با افزایش نانوذرات، کاهش جرم کمتری مشاهده شد

سبب بهبود دوام کامپوزیت حاصل از الیاف چوب- پلی پروپیلن در برابر قارچ رنگین کمان می شود؛ بنابراین با توجه به نقش و اهمیت سازگارکننده ها و نانوذرات در تولید و بهبود خواص کامپوزیت های چوب پلاستیک، ارزیابی تأثیر استفاده از سازگارکننده (پلی پروپیلن اکسید شده) و درصد های متفاوت ذرات نانورس (۰، ۲ و ۴ درصد) بر مقاومت به پوسیدگی و تخریب نمونه های کامپوزیت چوب پلاستیک در برابر قارچ مولد پوسیدگی سفید به نام رنگین کمان (*Coriolus versicolor*) از طریق محاسبه کاهش وزن نمونه ها از اهداف این پژوهش بوده است.

## مواد و روش ها

### مواد

فراورده کامپوزیت استفاده شده از الیاف چوب، پلی پروپیلن، ذرات نانورس و پلی پروپیلن اکسید شده (سازگارکننده) تشکیل شده است. الیاف چوب که مخلوطی از گونه های جنگلی است، از بخش استارتر کارخانه<sup>۱</sup> MDF خزر تهیه شد و به مدت ۲۴ ساعت در داخل آون قرار گرفت تا رطوبت آن به کمتر از ۱ درصد برسد. پلی پروپیلن با شاخص جریان مذاب ۶ گرم در ۱۰ دقیقه (درجه حرارت ۱۹۰ درجه سانتی گراد و وزنه ۲/۱۶۴ کیلوگرم) از پتروشیمی تبریز با نام اختصاری پلی نارتبریز تهیه شد. همچنین ذرات نانورس از سری DK با نام مونت موریلونیت با متوسط ابعاد ۱۰۰۰-۲۵ نانومتر و رطوبت کمتر از ۱ درصد از شرکت پیشگامان فناوری آسیا تهیه شد. برای تهیه پلی پروپیلن اکسید شده (سازگارکننده) از اکسیداسیون پلی پروپیلن در فاز مذاب

[۴، ۵]. مدیرزراع و همکاران در سال ۲۰۱۱ با بررسی مقایسه ای اثر قارچ پوسیدگی سفید رنگین کمان و قارچ پوسیدگی قهوه ای بر دوام و برخی از خواص مکانیکی چندسازه باگاس- پلی پروپیلن عنوان کردند شدت تخریب و درصد کاهش وزن نمونه ها توسط قارچ پوسیدگی سفید بیشتر بوده است [۲]. همچنین بررسی مواد مرکب چوب پلاستیک نشان داد که نمونه های اصلاح شده با سازگارکننده نسبت به نمونه های شاهد از کاهش وزنی بسیار کمتری برخوردار بودند [۶، ۷]. از طرف دیگر نتایج برخی مطالعات حاکی از آن است که افزایش درصد فاز پلیمری نسبت به فاز طبیعی در ساختار چوب پلاستیک در مقاومت به پوسیدگی قارچی تأثیر زیادی خواهد داشت [۶، ۸، ۹].

به رغم تحقیقات زیادی که در مورد ویژگی های فیزیکی و مکانیکی چوب پلاستیک انجام یافته، در مورد مقاومت آن نسبت به پوسیدگی، که یکی از موضوعات مهم است اطلاعات کاملی وجود ندارد. از طرف دیگر با توجه به مستعد بودن الیاف طبیعی مورد استفاده در فراورده های مرکب به هجوم عوامل مخرب زنده نظیر قارچ های چوبخوار و تأثیر زیاد پوسیدگی قارچی بر خواص فیزیکی و مکانیکی مواد مرکب، بررسی تأثیرات مخرب عوامل مخرب بیولوژیک محیط بر خواص مکانیکی این محصولات اهمیت ویژه ای دارد. از این رو با وجود بررسی های به عمل آمده روی مواد مرکب چوب پلاستیک در سال های اخیر بعضی سؤالات بنیادی در مورد دوام طبیعی و بیولوژیکی این ماده مرکب همچنان نیاز به مطرح شدن دارند.

از این رو این تحقیق بر این فرضیه استوار است که استفاده از ذرات نانورس و پلی پروپیلن اکسید شده،

1. Medium Density Fiber Board

با آسیاب آزمایشگاهی خرد شده و با پرس گرم در دمای ۱۹۰ و فشار ۱۰ بار در مدت ۸ دقیقه به صفحاتی در ابعاد  $150 \times 150 \times 2 \text{ mm}^3$  تبدیل شد. صفحات کامپوزیت حاصل به منظور تهیه نمونه‌های آزمونی مطابق با استاندارد DIN52176 توسط اره گرد رومیزی در ابعاد  $50 \times 25 \times 2 \text{ mm}^3$  برش داده شده و برای آزمون کاهش جرم آماده شدند [۱۱]. محیط کشت مالت اکستراکت آگار، ساخت کمپانی مرک آلمان به عنوان محیط کشت قارچ استفاده شد.

و در حضور اکسیژن هوا مطابق روش عبدوس و همکاران (۱۹۹۹) [۱۰] استفاده شد. در این روش، ابتدا پلی پروپیلن و الکل ۱- دودکانول<sup>۱</sup> (به عنوان تسریع کننده) در حضور اکسیژن هوا توسط دستگاه برابندر داخلی<sup>۲</sup> تحت دمای ۱۸۰ تا ۲۲۰ درجه سانتی گراد با سرعت ۶۰ دور در دقیقه به مدت دو ساعت ذوب شد. در نهایت مجموع مواد با نسبت‌های مشخص (جدول ۱) در دستگاه مخلوط‌کن داخلی با یکدیگر مخلوط شدند. سپس مخلوط خارج شده از دستگاه مخلوط‌کن داخلی،

جدول ۱. درصد وزنی اجزای تشکیل دهنده تیمارهای مختلف کامپوزیت الیاف چوب- پلی پروپیلن

کد	الیاف چوب (%)	پلی پروپیلن (%)	پلی پروپیلن اکسید شده-سازگار کننده (%)	نانورس (%)
WP	۵۰	۵۰	-	-
OPP2h3%	۵۰	۴۷	۳	-
OPP2h3%,2% Nano	۵۰	۴۵	۳	۲
OPP2h3%,4% Nano	۵۰	۴۳	۳	۴
WP 4% Nano	۵۰	۴۶	-	۴

شدند. در نهایت ظروف شیشه‌ای Kolle از اتوکلاو خارج شدند تا سرد شوند؛ سپس پایه قارچ پوسیدگی سفید که قبلاً تجدید کشت شده بود، به داخل ظروف کول انتقال یافتند و پس از آن همه ظروف به منظور رشد قارچ و پوشاندن سطح محیط کشت به مدت ۷ روز داخل انکوباتور قرار گرفتند.

همه نمونه‌های تهیه شده پس از خشک شدن در حرارت  $103 \pm 2$  درجه سانتی گراد در دسیکاتور خشک شده و با ترازوی آزمایشگاهی با دقت ۰/۰۰۱ گرم وزن شدند. نمونه‌های خشک شده، در دستگاه اتوکلاو استریل شدند. سپس همه نمونه‌ها روی توری‌های پلاستیکی و در شرایط کاملاً استریل به اتاق کشت انتقال یافتند. در داخل هر پتری دیش سه نمونه چوب از هر تیمار بر روی قارچ رنگین کمان قرار گرفت و برای هر تیمار دوازده تکرار در نظر گرفته شد و در

### آزمون پوسیدگی سفید

برای بررسی پایداری کامپوزیت حاصل از الیاف چوب- پلی پروپیلن در برابر حمله قارچ رنگین کمان از روش استاندارد DIN52176 استفاده شد. برای تهیه هر لیتر محیط کشت بر اساس دستورالعمل مندرج روی ظروف محیط کشت به ازای ۱۰۰۰ سی سی آب مقطر، ۴۸ گرم پودر مالت اکستراکت آگار استفاده شد و بر روی هیتر مغناطیسی به هم زده شد تا زمانی که محلول صاف و یکنواختی به دست آید. در این مرحله ۶۰ سی سی از محلول محیط کشت استریل نشده در هر ظرف شیشه‌ای Kolle ریخته شد. به منظور استریل کردن، ظروف در داخل اتوکلاو با دمای ۱۲۰ درجه سانتی گراد و فشار ۱/۵ کیلوگرم بر سانتی متر مربع به مدت ۲۰ دقیقه قرار داده

1. Dodecanol-1  
2. Brabender

پتری‌های محتوی قارچ تحت درجه حرارت  $2 \pm 103$  درجه سانتی‌گراد خشک شدند. سپس در دستگاه دسیکاتور خنک و با ترازویی با دقت  $0.001$  گرم وزن شدند. بدین ترتیب با محاسبه درصد کاهش وزن نمونه‌ها با استفاده از رابطه ۱ تعیین شد [۵].

$$(1) \quad \text{وزن خشک قبل از مجاورت با قارچ} - \text{وزن خشک قبل از مجاورت با قارچ} = \text{درصد کاهش وزن} \times 100$$

استفاده شد. بدین ترتیب که ابتدا کامپوزیت تهیه شده درون رزین اپوکسی قالب‌گیری شده و توسط دستگاه پیرایشگر در ابعاد  $1 \times 1 \text{ mm}^2$  تراش می‌شود. سپس نمونه‌ها ثابت شده و در یک بلوک پلاستیکی سخت محصور شد و توسط چاقوی الماسی ال‌ترامیکروتوم برش‌هایی به ضخامت  $60-50$  نانومتر از نمونه گرفته شد. در نهایت برش‌های تهیه شده روی یک توری مسی قرار داده شد و با کمک فلزات سنگین رنگ شده و برای عکس‌برداری با دستگاه آماده شد.

#### تجزیه و تحلیل داده‌ها

به‌منظور بررسی معنی‌داری اختلاف بین تیمارها در سطح اعتماد ۹۹ درصد از تجزیه واریانس استفاده شد و در نهایت میانگین‌ها با روش دانکن گروه‌بندی شدند.

#### نتایج و بحث

##### مشاهدات ظاهری

نتایج مربوط به کاهش جرم نمونه‌ها پس از ۱۴ هفته مجاورت با قارچ رنگین‌کمان به‌عنوان قارچ پوسیدگی سفید بر روی مواد مرکب حاصل از الیاف چوب-پلی‌پروپیلن در شرایط آزمایشگاهی در جدول ۲ و شکل ۱ آمده است.

نهایت همه پتری‌ها ۱۴ هفته به انکوباتور تحت حرارت  $27$  درجه سانتی‌گراد و  $75$  درصد رطوبت نسبی منتقل شدند. در مدت این ۱۴ هفته، فاکتورهای مانند درجه حرارت و رطوبت نسبی به‌طور مرتب کنترل شد و در پایان نمونه‌های خارج‌شده از

##### طیف‌سنج پراش پرتو ایکس (XRD)

مهم‌ترین کاربرد این روش محاسبه فاصله بین لایه‌هاست که با استفاده از رابطه برآگ (رابطه ۲) به‌صورت زیر محاسبه می‌شود:

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

در رابطه بالا،  $d$  فاصله صفحات،  $n$  عدد صحیح،  $\theta$  زاویه پراش و  $\lambda$  طول موج پرتو ایکس است. در این بررسی پراش پرتو ایکس با دستگاه XRD با تشعشع لامپ  $\text{Co } K\alpha$ ، طول موج  $1.78897 \text{ \AA}$ ،  $\lambda$  گام  $0.02$  درجه بر ثانیه، سرعت  $1$  درجه بر دقیقه، و زاویه پراش ( $2\theta$ ) در دامنه  $1-12$  درجه انجام گرفت. نمونه‌ها به‌صورت ورقه‌ای با ابعاد  $10 \times 10 \times 1 \text{ mm}^3$  برای این آزمون تهیه شدند. مدل دستگاه XRD به‌کاررفته در این مطالعه X'Pert MPD از شرکت Philips هلند بوده است.

##### تصاویر میکروسکوپ الکترونی انتقالی (TEM)

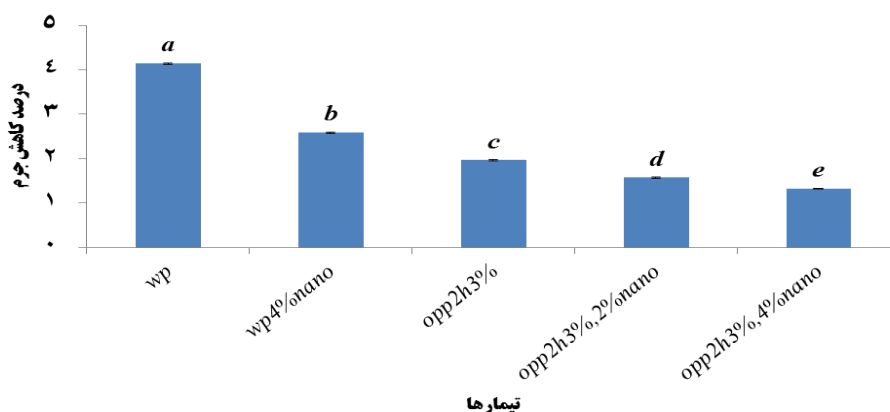
به‌منظور مشاهده دقیق‌تر ساختار کامپوزیت چوب پلاستیک حاوی ذرات نانورس و تأیید نتایج آزمون تفرق پرتو ایکس، از دستگاه میکروسکوپ الکترونی انتقالی (TEM) مدل Philips CM10، ساخت هلند

1. X-Ray Diffraction
2. Bragg

جدول ۲. میانگین درصد کاهش جرم و خسارت ظاهری فرآورده‌های مرکب پس از ۶ هفته مجاورت با قارچ رنگین کمان

کد تیمار	وزن خشک اولیه (گرم)	وزن مرطوب (گرم)	وزن خشک ثانویه (گرم)	میانگین کاهش جرم (%)	میانگین پوشش میسیلیوم (%)
WP	۳/۵۳	۳/۶	۲/۴۶	۴/۱۴۴	۸۸
WP4% Nano	۳/۵	۳/۵	۲/۶۱	۲/۵۸۲	۷۶
**OPP2h3%	۳/۵۴	۳/۵۳	۳/۱۹	۱/۹۶	۴۶
OPP2h3%,2% Nano	۳/۵۷	۳/۵	۳/۴	۱/۱۵۷	۳۳
OPP2h3%,4% Nano	۳/۵۵	۳/۵۴	۳/۴	۱/۳۲۶	۱۸

\*\*Opp2h: پلی‌پروپیلن اکسید شده در فاز مذاب در مدت زمان ۲ ساعت.



شکل ۱. درصد کاهش وزن تیمارهای پنج‌گانه در برابر حمله قارچ رنگین کمان

در دسترس، خاصیت آب‌دوستی الیاف را به آب‌گریزی تبدیل می‌کند و به این طریق سازگارکننده دسترسی سریع‌تر قارچ به الیاف چوب را دچار اختلال می‌کند و فعالیت قارچ را به تأخیر می‌اندازد و سبب می‌شود نمونه‌ها کاهش جرم کمتری را از خود نشان دهند [۱۲]، [۱۳]. شایان ذکر است که نتایج به‌دست‌آمده برابر با نتایجی بودند که توسط قربانی واقعی و همکاران (۲۰۱۰) از بررسی مقاومت به پوسیدگی چندسازه باگاس-پلی‌پریپلن حاصل شد [۶]. تیمار و همکاران (۱۹۹۹) نیز در بررسی مقاومت به هوازدگی و پوسیدگی تخته‌های چوب پلاستیک، حضور سازگارکننده را عاملی مهم در جلوگیری از کاهش جرمی و پوسیدگی نمونه‌ها ارزیابی کردند [۷].

از دیگر سو، ضریب لاغری بالا و نفوذناپذیری ذرات

همان‌طور که از جدول استنباط می‌شود اختلاف فاحشی در مورد درصد پوشش میسیلیوم و درصد کاهش جرم بین نمونه‌های دارای سازگارکننده و ذرات نانوس و نمونه‌های فاقد این دو فاکتور وجود دارد، به‌طوری که حروف غیرمتمثابه استفاده‌شده در شکل ۱ نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار آماری است. به‌نظر می‌رسد یکی از دلایل افزایش مقاومت به پوسیدگی در نمونه‌های دارای سازگارکننده در مقایسه با نمونه‌های فاقد این فاکتور، درگیر کردن گروه‌های فعال هیدروکسیل مواد لیگنوسولوزی است که موجب کاهش جذب رطوبت و در نتیجه کاهش فعالیت قارچ رنگین کمان شده است. به‌عبارت دیگر، ماده سازگارکننده در اثر پیوند با گروه‌های OH مواد لیگنوسولوزی و تشکیل گروه‌های استری علاوه بر حذف گروه‌های OH

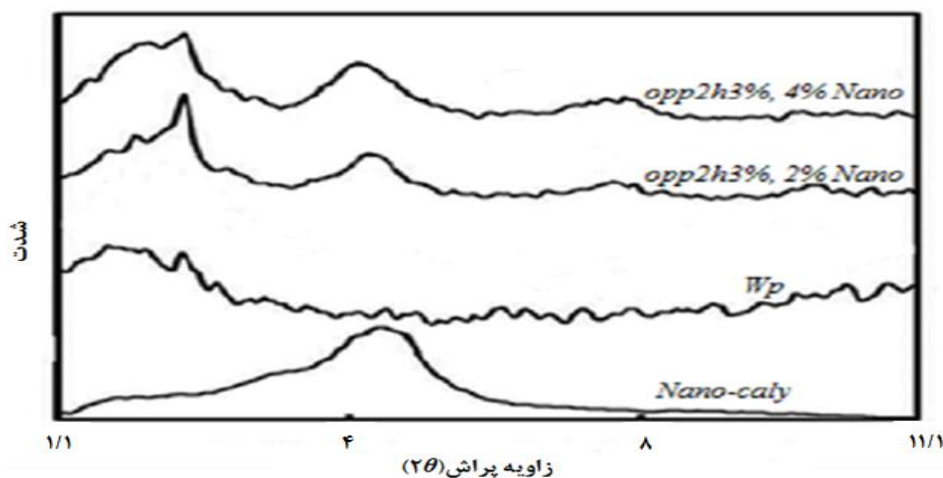
جرمی کمتری از خود نشان دادند [۳]. بنابراین براساس نتایج جدول ۲ می‌توان استنباط کرد که تیمارهای دارای سازگارکننده در برابر پوسیدگی قارچ سفید مقاوم‌اند و در این فرایند ۱۴ هفته‌ای در برابر سازوکار پوسیدگی بیشتر مقاومت می‌کنند؛ درحالی که نمونه‌هایی که همزمان دارای سازگارکننده و ذرات نانورس‌اند، کاهش جرم کمتر و مقاومت بیشتری را نسبت به نمونه‌های دارای سازگارکننده از خود در برابر حمله قارچ‌ها نشان می‌دهند.

#### ریخت‌شناسی

در شکل ۲ نتایج طیف‌های XRD مربوط به ذرات نانورس و کامپوزیت‌های چوب پلاستیک حاوی مقادیر مختلف نانورس در زوایای ۱۲-۱ درجه نشان داده شده است.

همان‌طور که مشاهده می‌شود با افزایش مقدار نانورس از صفر درصد به ۴ درصد، فاصله بین لایه‌های سیلیکاتی افزایش یافته است. بر این اساس، پیک تفرق پرتو ایکس نانورس در زاویه  $2\theta = 4/9$  (مربوط به فاصله بین لایه‌های  $d_{011} = 20/8$  nm) ایجاد می‌شود که با افزایش مقدار نانورس تا ۴ درصد پیک XRD در کامپوزیت‌های حاوی ذرات نانورس

نانورس در برابر آب، سبب کاهش جذب آب می‌شود که مانع فعالیت آنزیم قارچ رنگین‌کمان می‌شود و در نتیجه، کاهش وزن کمتری اتفاق می‌افتد که برای این منظور سه سازوکار مختلف وجود دارد: سازوکار اول مرتبط با طبیعت آب‌گریز سطح رس است که این ویژگی موجب غیرفعال شدن رطوبت می‌شود. سازوکار دوم مرتبط با این ویژگی است که لایه‌های سیلیکاتی ذرات رس به دلیل داشتن ضریب لاغری بالا سبب طولانی‌تر و پریچ و خم شدن مسیر عبور مولکول‌ها در ماتریس پلیمری می‌شوند، که تعویق نفوذ آب به داخل کامپوزیت را در پی دارد. سازوکار سوم نیز بر این دلالت دارد که ذرات نانورس به علت خاصیت هسته‌زایی موجب تشکیل ساختار بلوری در کامپوزیت می‌شود که این مسئله خود به کاهش روند جذب آب کمک می‌کند و سبب دسترسی نداشتن قارچ به بخش لیگنوسلولزی کامپوزیت می‌شود [۱۴-۱۶]. در این زمینه، بهزادی شهربابک و همکاران در تحقیقی در سال ۲۰۱۴ با بررسی خواص فیزیکی و مقاومت به پوسیدگی چندسازه نانورس-پلی‌اتیلن-نرمه تخته فیبر دانسیته متوسط بیان کردند با افزایش ذرات نانورس، مقاومت به پوسیدگی افزایش یافت و نمونه‌ها کاهش

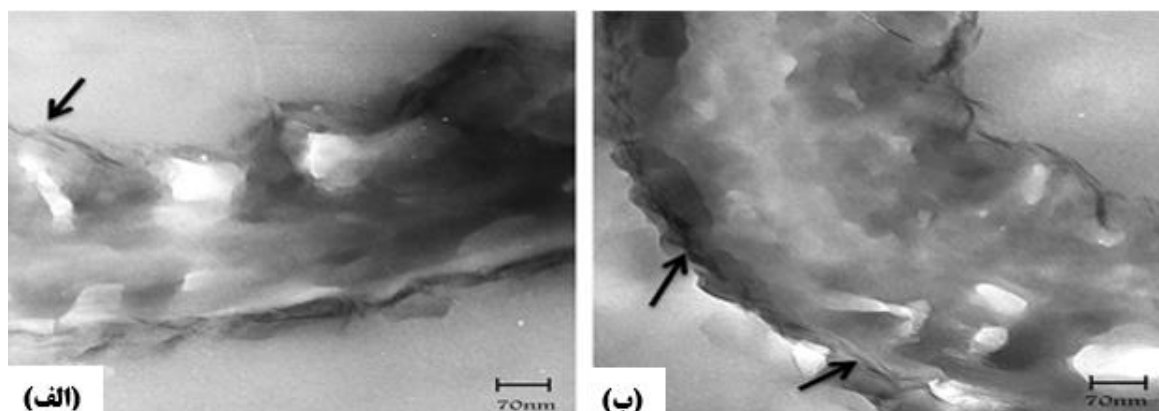


شکل ۲. طیف پراش پرتو ایکس در تیمارهای پنج‌گانه

نانورس در کامپوزیت حاصل و تأیید نتایج آزمون پرتو ایکس، از تصاویر میکروسکوپ الکترونی انتقالی استفاده شد. شکل‌های ۳ و ۴ به ترتیب کامپوزیت حاصل از الیاف چوب و پلی پروپیلن حاوی ۲ درصد ذرات نانورس و ۴ درصد ذرات نانورس را نشان می‌دهند. در این اشکال خطوط تاریک رشته‌رشته‌ای مربوط به لایه‌های نانورس و نواحی روشن نشان‌دهنده ماتریس پلیمری است. همان‌طور که مشاهده می‌شود لایه‌های نانورس به‌طور کامل از یکدیگر جدا نشده‌اند که این وضعیت، سبب ایجاد ساختار بین‌لایه‌ای در نانوکامپوزیت شده است. ساختارهای بین‌لایه‌ای در استفاده از ۴ درصد ذرات نانورس با تمرکز بیشتر و کیفیت بهتری دیده می‌شود که صحت این تصاویر با نتایج آزمون XRD نیز تأیید شد. همان‌طور که پیشتر نیز ذکر شد، این ساختارهای بین‌لایه‌ای سبب ایجاد مانعی در برابر نفوذ اکسیژن شده و موجب می‌شود رشد و تکثیر قارچ به تعویق بیفتد. همچنین ساختارهای بین‌لایه‌ای موجب پایداری مواد مرکب چوب-پلاستیک حاوی ذرات نانورس در برابر حمله قارچ رنگین‌کمان می‌شود [۱۸].

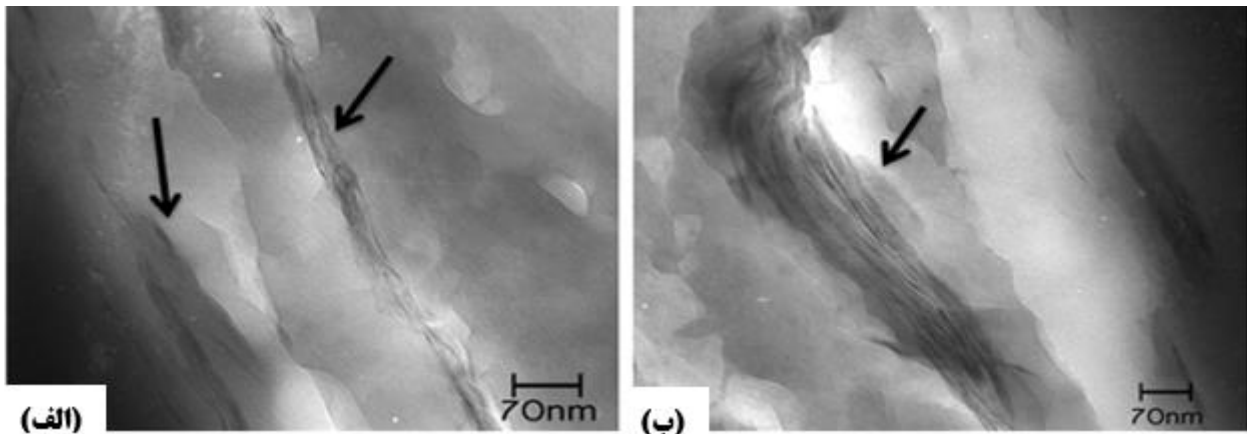
تغییر کرده و به سمت عقب جابه‌جا شده است که این امر مربوط به  $\theta=3/9$  و فاصله بین‌لایه‌ای  $d_{01}=26/17\text{nm}$  است. بنابراین از این شکل این‌گونه استنباط می‌شود که ساختار کامپوزیت حاصل از نوع بین‌لایه‌ای است. دلیل این امر آن است که قله مربوط به ناحیه بلوری ذرات نانورس کاملاً از بین نرفته و فقط به سمت عقب و  $2\theta$ ‌های پایین‌تر کاهش یافته است و فاصله بین لایه‌های سیلیکاتی ذرات نانورس به دلیل نفوذ زنجیره‌های پلیمری افزایش یافته، ولی از هم گسیختگی کامل ذرات نانورس رخ نداده است، این در حالی است که اگر ساختار کامپوزیت از نوع ساختار لایه‌لایه‌ای باشد به دلیل تلاشی شدن ساختار بلوری هیچ قله‌ای در منحنی باقی نمی‌ماند. خوئینی و همکاران (۲۰۰۸) عنوان کردند که خواص مکانیکی نانوکامپوزیت‌ها علاوه بر خلوص نانورس به میزان سازگاری آن و رزین پلیمری مورد نظر بستگی دارد [۱۷]. مطالعات ساختاری نمونه‌ها با کمک دستگاه تفرق پرتو ایکس نیز نشان داد که با استفاده از سازگارکننده، فاصله بین لایه‌های سیلیکاتی نانورس از  $20\text{ nm}$  در حالت سازگارنشده به  $26\text{ nm}$  در حالت سازگار شده افزایش می‌یابد.

در ادامه به منظور مشاهده دقیق‌تر ساختار ذرات



شکل ۳. مواد مرکب الیاف چوب-پلی پروپیلن حاوی سازگارکننده (OPP) و ۲ درصد ذرات نانورس (الف و ب)





شکل ۴. مواد مرکب الیاف چوب-پلی پروپیلن حاوی سازگارکننده (OPP) و ۴ درصد ذرات نانورس (الف و ب)

پوسیدگی سفید افزایش می یابد و کاهش جرم نمونه ها کمتر می شود. بنابراین با توجه به شکل ۱ و جدول ۲ می توان استنباط کرد که نمونه های دارای ۳ درصد سازگارکننده و ۴-۲ درصد ذرات نانورس، کمترین کاهش جرم را دارند. در آینده نیز می توان با استفاده از افزودنی های دیگر، استفاده از ترکیبات مختلف مواد لیگنوسلولزی و مواد پلیمری در ساخت کامپوزیت و با تحقیقات بیشتر به نتایج و راه حل های مناسب و قابل گزینش دست یافت.

### نتیجه گیری

نتایج مربوط به تأثیر قارچ رنگین کمان به عنوان قارچ پوسیدگی سفید بر روی چوب پلاستیک در شرایط آزمایشگاهی نشان داد که کاربرد مواد افزودنی ذرات نانورس و سازگارکننده (پلی پروپیلن اکسیدشده) در ترکیب کامپوزیت، به طور چشمگیری این فرآورده را در مقابل پوسیدگی قارچی محافظت می کند؛ به این معنا که با افزایش سطوح استفاده از ذرات نانورس و سازگارکننده، مقاومت نمونه ها در برابر قارچ

## References

- [1]. Jabbari, H., Mansouri, N., and Abdollahi, A. (2009). Investigation the effect of paint containing Nano silver particles in controlling of airborne fungi. *Iranian Journal of Association of Environmental Health*, 2(1): 28-35.
- [2]. Modirzare, M., Hosseini hashemi, S.Kh., Nourbakhsh, A., and Safdari, V.R. (2011). Investigation of white and brown fungi rots effect on durability and mechanical properties of bagasse-polypropylene composites. *Iranian Journal of Wood and Paper Science Research*, 26(1): 173-192.
- [3]. Behzadi Shahrebabk, A., Madhoushi, M., and Mastri Farahani, M.R. (2014). Investigation the physical properties and decay resistance of medium density fiberboard sanding dust/high density polyethylene/nanoclay composite. *Iranian Journal of Wood and Paper Science Research*, 29(2): 287-298.
- [4]. Kartal, S.N., Green, F., and Clausen, C.A. (2009). Do the unique properties of Nano-metals affect leachability or efficacy against fungi and termites? *International Journal of Biodeterioration & Biodegradation*, 63(4): 490-495.
- [5]. Faraiallahpour, M., Mehdiinia, M., and Khanjanzadeh, H. (2011). Effect of Nano-silver particles on the Decay Resistance of particle board against white rot fungus. 1<sup>st</sup> National Conference on Nano Science & Nano Technology, Feb.16-18 Yazd, Iran, pp. 1632-1635.
- [6]. Ghorbani vagheei, A., Omidvar, A., Rafighi, A., and Razavi, S. (2010). Investigation on the decay resistance of bagasse-polypropylene composite. *Journal of Wood & Forest Science and Technology*, 17(1): 117-127.
- [7]. Timar, M.C., Pitman, A., and Mihai, M.D. (1999). Biological resistance of chemically modified aspen composites. *International Journal of Bio Deterioration and Biodegradation*, 43(4): 181-187.
- [8]. Hassanpour, A., Bazyab, B., Khademieslam, H.A., and Hemasi, A.H. (2010). Effects of fungus *Trametes versicolor* and *Coniophora puteana* study, on the mass loss of wood/polypropylene composites. *Iranian Journal of Wood and Paper Science Research*, 25(1): 102-112.
- [9]. Kazemi, S.M., and Jalilvand, M. (2008). Investigation on wood plastic composite resistance against water, fire and fungal attack compared to untreated maple and elm. *Iranian Journal of Wood and Paper Science Research*, 22(2): 81-98.
- [10]. Abdouss, M., Sharifi-Sanjarani, N., and Bataille, P. (1999). Oxidation of polypropylene in a solution of monochlorobenzene. *Journal of Applied Polymer Science*, 47(14): 3417-3427.
- [11]. Standard DIN 52176, September. (1972). Bestimmung der vorbeugenden Wirkung von Holzschutzmitteln: Prüfung mit holzzerstörenden Basidiomyceten nach dem Klötzchen-Verfahren in Kolleschalen.
- [12]. Liu, Q., Lv, C., Yang, Y., He, F., and Ling, L. (2005). Study on the pyrolysis of wood-derived rayon fiber by thermogravimetry-mass spectrometry. *Journal of Molecular Structure*, 733(1-3): 193-202.
- [13]. Wu, Q., Lei, Y., Clemons, C.M., Yao, F., Xu, y., and Lian, K. (2007). Proportion of HDPE/clay/wood Nano composites. *Journal of Plastic Technology*, 27(2): 108-115.
- [14]. Rana, H.T., Gupta, R.K., Ganga Rao, H.V.S., and Sridhar, L.N. (2005). Measurement of moisture diffusivity through layered-silicate Nano composites, *Journal of AIChE*, 51(12): 3249-3256.



- [15]. Alexandre, B., Marais, S., Langevin, S., Mederic, P., and Aubry, T. (2006). Nano composite based polyamide 12/montmorillonite: relationships between structures and transport properties, *Journal of Desalination*, 199(1-3) 164-166.
- [16]. Bharadwaj, R.K., Mehrabi, A.R, Hamilton, C., Trujillo, C., Murga, M., Fan, R., Chavira, A. and Thompson, A.K. (2002). Structural property relationship cross-linked polyester clay Nano composites, *Polymer*, 43(13): 3699-3705.
- [17]. Khoeini, M., Bazgir, S., Tamizifar, M., and Nemati, Z. (2008). Study the process modification of Nano-silicate layered for use in polymer Nano-composites. *New Materials National Congress*, June. 10-12 Tehran, Iran, 503-513p.
- [18]. Khunova, V., Kelnar, I., Simon, P., Duchon, M., Turekova, I. and Balog, K. (2007). Effect of nanoclays on the flame retardancy of polymer nanocomposites. *Journal of Chemické listy*, 101(1): 22-23.