

بررسی خواص فیزیکی و مقاومت به پوسیدگی چندسازه نانورس - پلی اتیلن - نرمه تخته فیبر دانسیته متوسط

امینه بهزادی شهربابک^{۱*}، محراب مدهوشی^۲ و محمدرضا ماستری فراهانی^۳

۱- نویسنده مسئول، دانش آموخته کارشناسی ارشد فراورده‌های چندسازه چوب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

پست الکترونیک: a_behzadi@ymail.com

۲- دانشیار، فراورده‌های چندسازه چوب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

۳- استادیار، فراورده‌های چندسازه چوب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

تاریخ پذیرش: فروردین ۱۳۹۳

تاریخ دریافت: آبان ۱۳۹۲

چکیده

در این پژوهش به بررسی اثر ذرات نانورس و عامل جفت‌کننده بر مقاومت به پوسیدگی در برابر قارچ رنگین‌کمان و خواص فیزیکی (جذب آب و واکنشیدگی ضخامت) چندسازه نانورس - نرمه MDF - پلی اتیلن پرداخته شده است. بدین جهت از نرمه حاصل از سناده‌زنی سطح MDF به‌عنوان ماده لیگنوسولوزی و پلی اتیلن دانسیته سنگین (HDPE) به‌عنوان ماده زمینه استفاده شد. همچنین مالئیک انیدرید پیوند خورده با پلی اتیلن (MAPE) در سطوح وزنی ۳٪ و ۶٪ به‌عنوان عامل سازگارکننده و نانورس Cloisite® 15A در سطوح وزنی ۲٪، ۴٪ و ۶٪ مورد استفاده قرار گرفت. مواد اولیه بوسیله اکسترودر دو ماردونه به صورت گرانول تهیه گردید. سپس ۳۶ تخته (۱۲ تیمار در ۳ تکرار) با چگالی اسمی 1 gr/cm^3 و در ابعاد $28 \text{ cm} \times 30 \text{ cm} \times 1 \text{ cm}$ با استفاده از روش پرس گرم تهیه شدند. آنگاه جذب آب و واکنشیدگی ضخامت و کاهش وزن بررسی شد. مطابق با استاندارد ASTM-D1413، نمونه‌های چندسازه به مدت ۳ ماه در مجاورت قارچ *Trametes versicolor* قرار گرفتند. نتایج نشان داد که جذب آب و واکنشیدگی ضخامت نمونه‌های آزمون با افزایش درصد وزنی MAPE به طور معنی‌داری کاهش یافت. در حالی که با افزودن نانورس تا سطح ۲ درصد وزنی این مقادیر کاهش و بعد افزایش یافت. همچنین با افزایش درصد وزنی نانورس و عامل جفت‌کننده مقاومت به پوسیدگی نمونه‌های آزمون بهبود پیدا کرد.

واژه‌های کلیدی: چوب-پلاستیک، نانورس، MAPE، مقاومت به پوسیدگی، جذب آب، واکنشیدگی ضخامت

مقدمه

در طول دهه گذشته، چندسازه‌های چوب-پلاستیک توسعه منحصر به فردی داشته و براساس عملکرد، فرایند، محصول و نوآوری در طراحی محبوبیت زیادی پیدا کرده است (Crookston et al., 2011). با توجه به ویژگی‌های بسیار خوب مواد مرکب چوب-پلاستیک، این مواد کاربردهای مختلفی پیدا کرده‌اند و استفاده از آنها به سرعت رو به افزایش است. از دلایل پذیرش صنعتی این محصول، تفکر عمومی راجع به بادوام بودن آن، جذب آب کم و

مقاومت به پوسیدگی تا زمان کبسوله شدن الیاف چوب در پلاستیک می‌باشد (Yeh et al., 2010).

به دنبال افزایش نسبی قیمت پلاستیک‌ها طی سال‌های گذشته، افزودن الیاف و پرکننده‌های طبیعی به‌منظور کاهش هزینه‌ها در صنعت پلاستیک و در برخی موارد افزایش تولید، مورد توجه قرار گرفت (Najafi et al., 2008). امروزه با توجه به کمبود ماده اولیه چوبی در ایران توجه زیادی به استفاده از پسماندهای کشاورزی و بازیافت زباله‌های چوبی معطوف شده است. یکی از موادی که به آن

درصد نانورس پرداختند. نتایج جذب آب و واکنشیدگی ضخامت نمونه‌های آزمونی نشان داد که با افزایش درصد وزنی ذرات نانورس با سطوح ثابت نرمه MDF، این مقادیر کاهش می‌یابد.

در پژوهشی که توسط Modirrahmati و همکاران (۲۰۱۲) صورت پذیرفت، تأثیر افزودن نانورس بر ویژگی‌های چندسازه پلی‌پروپیلن/الیاف کارتن کنگره‌ای (OCC) کهنه بررسی شد. در این چندسازه از ۲/۵، ۵ و ۷ درصد نانورس استفاده شد. نتایج نشان داد که در اثر افزودن نانورس به ترکیب چندسازه، جذب آب نمونه‌های چندسازه پس از ۲ و ۲۴ ساعت غوطه‌وری کاهش یافت.

در پژوهشی دیگر که توسط Tasouji و همکاران (۲۰۱۲) انجام شد؛ تأثیر نوع ماده لیگنوسلوزی (ذرات کاه گندم و برنج) و مقادیر مختلف نانو ذرات رس (۰، ۲ و ۴ درصد) بر خواص فیزیکی و مکانیکی چندسازه چوب‌پلاستیک بررسی شد. نتایج نشان داد که خواص جذب آب ۲۴ ساعتی نمونه‌ها با اضافه کردن ۲ درصد نانورس کاهش و در سطح ۴ درصد افزایش قابل توجهی یافته است. Ghorbani و همکاران (۲۰۰۸) به ارزیابی تأثیر درصد‌های مختلف باگاس و عامل جفت‌کننده با نسبت وزنی ۰، ۴ و ۶ درصد بر مقاومت به پوسیدگی و میزان جذب آب چندسازه باگاس-پلی‌پروپیلن پرداختند. نتایج نشان داد که افزودن عامل جفت‌کننده سبب کاهش وزن و جذب آب کمتر چندسازه شد.

Karimi و همکاران (۲۰۰۷) به بررسی اثر عامل جفت‌کننده MAPE و آرد چوب‌افرا بر مقاومت به پوسیدگی چوب-پلاستیک پرداختند. در این تحقیق، اثر ۰، ۱ و ۲ درصد عامل جفت‌کننده و ۲۵ و ۵۰ درصد آرد چوب‌افرا بر خواص فیزیکی، مکانیکی و پوسیدگی بررسی شد. کاهش وزن نمونه‌ها پس از ۱۴ هفته قرار گرفتن در معرض قارچ *Coriolus versicolor* اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد که عامل جفت‌کننده تأثیر معنی‌داری روی خواص مختلف چندسازه از قبیل مقاومت خمشی، ضربه و جذب آب دارد. همچنین کاهش وزن نمونه‌ها در اثر پوسیدگی در نمونه‌های بدون عامل جفت‌کننده بیشتر بود.

Kord و همکاران (۲۰۱۲)، در پژوهش خود به بررسی اثر نانو رس با مقادیر متفاوت ۰، ۱، ۲، ۳، ۴ و ۵ درصد، بر مقاومت به پوسیدگی و خصوصیات فیزیکی-مکانیکی

توجه چندانی نشده نرمه حاصل از سنباده‌زنی سطح MDF^۱ است که اغلب دور ریخته شده یا سوزانده می‌شود. در فرایند مکانیکی تخته فیبر ۲۰-۱۸ درصد از جرم کل تخته به‌عنوان ماده زائد از رده خارج می‌شود (Gan et al., 2005)، که ماده اولیه مناسب و ارزان‌قیمتی را برای استفاده در صنعت چوب‌پلاستیک فراهم می‌کند.

در ساخت این مواد مرکب محدود و وسیعی از پلیمرها از جمله پلی‌پروپیلن، پلی‌اتیلن، پلی‌وینیل کلراید، پلی‌استر و ... به همراه پرکننده‌های سلولزی شامل آرد و الیاف چوب، الیاف کتان، کنف، بامبو، کاه و ... مورد استفاده قرار می‌گیرند (Li et al., 2007). پلی‌اتیلن پلیمری است که به دلیل دمای فراورش نسبتاً پایین و فرایندپذیری خوب با چوب بیشتر مورد استفاده قرار می‌گیرد، اما به دلیل غیر قطبی بودن به طور طبیعی با چوب ناسازگار می‌باشد؛ برای ایجاد سازگاری بین چوب و پلیمر از عامل جفت‌کننده یا سازگارکننده استفاده می‌شود (Zhang et al., 2008). عامل جفت‌کننده با ایجاد پیوندهای شیمیایی بین الیاف و ماده زمینه همانند پلی موجب تقویت اتصال در سطح مشترک بین دو فاز و در نتیجه بهبود ویژگی‌های ماده مرکب مذکور می‌گردد (Lu et al., 2000). از سوی دیگر امروزه استفاده از ترکیبات شیمیایی جدید با ابعاد کاملاً متفاوت در مقیاس نانو به علت ماهیت ریز ساختاری و نحوه عملکرد جهت بهبود خواص کاربردی فراورده مرکب پلیمری ضرورت یافته و در سال‌های اخیر تحقیقات زیادی در زمینه روش‌های آماده سازی کامپوزیت‌های ترکیب شده با پرکننده‌های معدنی و اولفین مانند رس انجام شده است. رس‌ها شامل مونتموریلونیت‌ها، هکتوریت‌ها، ساپونیت‌ها و مونتموریلونیت‌ها با سطح اصلاح شده، مواد معدنی با ارزشی هستند و به دلیل داشتن ضریب ظاهری بالا، مورفورلوژی سطح مناسب، فراوانی طبیعی و قیمت پایین به طور گسترده در بسیاری از کاربردهای صنعتی استفاده شده‌اند (Lu et al., 2000). این مواد پرکننده می‌توانند افزوده یا بصورت لایه‌ای در داخل نانوکامپوزیت پخش شوند.

Madhoushi و Chavoshi (۲۰۱۲) به بررسی توان نگه‌داری پیچ و میخ و میزان جذب آب چندسازه نانورس نرمه MDF-پلی‌پروپیلن در سه سطح وزنی ۲، ۴ و ۶

1-Medium Density Fiberboard

استفاده شد. همچنین پلی اتیلن (PE) گرید ۵۶۲۰ با شاخص مذاب ۲۰g/۱۰min از صنایع پتروشیمی اراک تهیه و مورد استفاده قرار گرفت. در این پژوهش از ذرات نانورس محصول کارخانه Southern Clay خریداری شده از شرکت پویس پلیمر آرمان با شاخص تجاری "Cloisite® 15 A" در سطوح وزنی ۰، ۲، ۴ و ۶ درصد و مالئیک انیدرید پیوند خورده با پلی اتیلن (MAPE) به میزان ۰، ۳ و ۶ درصد وزنی به عنوان عامل جفت کننده با نام تجاری PE-g-MAH ساخت شرکت تعاونی کیمیا بسیار آسیا استفاده شد.

ساخت چندسازه

چندسازه‌های نانو رس - نرمة MDF - پلی اتیلن در ۱۲ تیمار جداگانه و با ۳ تکرار ساخته شدند. ترکیب این چندسازه‌ها در جدول شماره (۱) قابل مشاهده است. پس از تهیه نرمة MDF از کارخانه، به منظور رسیدن به رطوبت مورد نظر، این مواد به مدت ۲۴ ساعت در آون با درجه حرارت $103 \pm 2^\circ\text{C}$ خشک شدند.

چوب - پلاستیک در برابر قارچ عامل پوسیدگی سفید پرداختند. خواص فیزیکی و مکانیکی و کاهش وزن تمام نمونه‌ها بعد از ۸ هفته قرار گرفتن در معرض قارچ بررسی شد. نتایج نشان داد، با افزایش نانو ذرات رس جذب آب کاهش یافت. همچنین کمترین کاهش وزن و بیشترین سختی در نمونه‌هایی با ۵ درصد نانورس مشاهده شد.

از آنجا که بیش از ۱۰ درصد از چوب - پلاستیک تولیدی، مصارف ساختمانی دارد و قسمت عمده آن در محوطه‌های بیرونی مصرف می‌شود، بنابراین بررسی مقاومت به پوسیدگی و جذب آب این فراورده امری اجتناب‌ناپذیر است. بنابراین این تحقیق به منظور بررسی اثر نانورس و عامل جفت‌کننده بر مقاومت به پوسیدگی چندسازه نرمة MDF و پلی اتیلن انجام شده است.

مواد و روش‌ها

مواد

در این مطالعه از نرمة MDF حاصل از سناده‌زنی سطح MDF تولید کارخانه آرین سینا به عنوان ماده لیگنوسلولزی

جدول ۱- مشخصات تیمارهای مختلف برای ساخت چندسازه

شماره تیمار	کد تیمار	MAPE (%)	نانورس (%)	Dust (%)	PE (%)
۱	C0 N0	۰	۰	۵۰	۵۰
۲	C0 N2	۰	۲	۵۰	۴۸
۳	C0 N4	۰	۴	۵۰	۴۶
۴	C0 N6	۰	۶	۵۰	۴۴
۵	C3 N0	۳	۰	۵۰	۴۷
۶	C3 N2	۳	۲	۵۰	۴۵
۷	C3 N4	۳	۴	۵۰	۴۳
۸	C3 N6	۳	۶	۵۰	۴۱
۹	C6 N0	۶	۰	۵۰	۴۴
۱۰	C6 N2	۶	۲	۵۰	۴۲
۱۱	C6 N4	۶	۴	۵۰	۴۰
۱۲	C6 N6	۶	۶	۵۰	۳۸

گردیدند تا زمینه پلیمری و ماده لیگنوسلولزی کاملاً با یکدیگر مخلوط شوند. برای اختلاط مواد مورد نظر از

به منظور ساخت نمونه‌ها، مواد توزین شده هر یک از تیمارها قبل از پروسه ساخت، به مدت چند دقیقه مخلوط

کشت و تکثیر قارچ رنگین کمان (*Trametes versicolor*) مطابق با استاندارد ASTM، آیین نامه D1413 اصلاح شده، نمونه خاک با $\text{pH}=7.6$ ppm و با ظرفیت نگهداری آب ۳۳ درصد تهیه گردید. سپس ۱۲۰ سانتی متر مکعب خاک، با رطوبت تنظیم شده براساس ظرفیت نگهداری آب، در شیشه‌های کشت قارچ ریخته شد و شیشه‌های محتوی خاک همراه با ماده غذایی که برای قارچ *T. versicolor* از برون چوب صنوبر به ابعاد $3 \times 28 \times 35$ میلی متر بود، در اتوکلاو استریل شد. پس از سرد شدن شیشه‌ها، یک برش کوچک از قارچ مورد نظر در زیر هود لامینار بر روی ماده غذایی داخل شیشه‌ها کشت داده شد و شیشه‌های محتوی قارچ در داخل اتاق کشت در رطوبت ۷۰ درصد و در دمای ۲۷ درجه سانتی‌گراد به مدت ۳ هفته نگهداری شدند.

مجاورت نمونه‌های چندسازه با قارچ

نمونه‌های چندسازه به منظور استریل شدن به مدت ۲۰ دقیقه در اتوکلاو مرطوب با درجه حرارت ۱۲۰ قرار داده شدند. سپس در معرض قارچ رشد یافته قرار گرفتند و به مدت ۱۲ هفته در شرایط ذکر شده قرار دادند. پس از آن ریشه‌های قارچ از روی نمونه‌ها حذف و نمونه‌ها وزن شدند، سپس به مدت ۲۴ ساعت در آون قرار گرفته و بعد از وزن کردن نمونه‌ها، میزان کاهش وزن در اثر پوسیدگی محاسبه شد. در این آزمون علاوه بر نمونه‌هایی که در مجاورت قارچ قرار گرفتند، از تمامی نمونه‌ها چند سازه در شیشه‌های محتوی خاک در شرایط کاملاً مشابه با آزمون مقاومت به پوسیدگی ولی بدون حضور قارچ به مدت ۳ ماه برای محاسبه میزان کاهش وزن در اثر عوامل غیر قارچی قرار گرفتند.

محاسبه کاهش وزن

میزان کاهش وزن (WL) فراورده چندسازه با استفاده از رابطه زیر به دست آمد.

$$\text{WL \%} = [(W_{01} - W_{02}) / W_{01}] \times 100 \quad (\text{رابطه ۳})$$

W_{01} : وزن خشک قبل از مجاورت با قارچ

W_{02} : وزن خشک بعد از مجاورت با قارچ

دستگاه اکسترودر دوماردونه مدل WPC-4815 ساخت شرکت برنا پارس مهر، استفاده و چندسازه‌ای بی شکل تولید شده با استفاده از آسیاب چکشی آزمایشگاهی، تبدیل به بودر شد. برای ساخت نمونه‌ها از فشار ویژه ۳۰ بار و مدت زمان پرس گرم ۱۰ دقیقه استفاده شد. روش انجام کار بدین صورت بود که ابتدا بوسیله قالب فلزی (جهت جلوگیری از روان شدن ماده پلیمری) و قالب چوبی (جهت شکل دهی) یک چند سازه بوسیله گرانول‌های خردشده حاصل از آسیاب چکشی ایجاد شد. پس از اتمام مراحل پرس گرم، برای جلوگیری از برگشت ضخامتی نمونه‌های آزمایش، به مدت چند ساعت در بین چهار گیره دستی قرار گرفتند. نمونه‌های آزمایش در قالب فلزی با ابعاد $1 \times 30 \times 28$ cm در پرس گرم تهیه شدند.

به منظور بررسی جذب آب و واکنشیدگی ضخامت از آیین نامه D-1037 استاندارد ASTM استفاده شد. سپس خواص فیزیکی نمونه‌ها با ابعاد 5×5 سانتی متر پس از ۲ و ۲۴ ساعت غوطه‌وری در آب اندازه‌گیری شد. محاسبه جذب آب و واکنشیدگی ضخامتی به ترتیب براساس روابط ۱ و ۲ انجام شد (Madhoushi and Chavooshi, 2013).

$$\text{WO \%} = [(M_h - M_0) / M_0] \times 100 \quad (\text{رابطه ۱})$$

WO: درصد جذب آب

M_h : وزن پس از غوطه‌ور سازی

M_0 : وزن خشک

$$\text{TS \%} = [(T_h - T_0) / T_0] \times 100 \quad (\text{رابطه ۲})$$

TS: درصد واکنشیدگی ضخامتی

T_h : ضخامت از غوطه‌ور سازی

T_0 : ضخامت خشک

به منظور بررسی مقاومت به پوسیدگی چندسازه از استاندارد ASTM و آیین نامه D1413 اصلاح شده استفاده شد. قبل از انجام آزمون نمونه‌های چندسازه به ابعاد $10 \times 10 \times 10$ میلی متر برش و در پنج چرخه جوشاندن در آب مقطر به مدت ۲ ساعت و خشک کردن در آون با دمای 102 ± 3 درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت قرار گرفتند. در پایان، درصد رطوبت اندازه‌گیری شد. این پیش تیمار خشک و تر شدن که به صورت طبیعی در محیط بیرون رخ می‌دهد را شبیه‌سازی می‌کند.

براساس وزن خشک نرمه امدی‌اف مطابق فرمول زیر محاسبه می‌گردد.

$$MC \% = [(W_h - W_0) / (X \times W_0)] \times 100 \quad (\text{رابطه ۷})$$

W_h : وزن مرطوب

W_0 : وزن خشک

X : نسبت نرمه امدی‌اف

تحلیل آماری داده‌های بدست آمده

در این تحقیق داده‌ها با استفاده از طرح کاملاً تصادفی در قالب آزمون فاکتوریل، شامل دو متغیر سطح وزنی نرمه MDF (در ۳ سطح) و فاکتور افزودنی (در ۴ سطح) مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. آنالیز داده‌ها با استفاده از تجزیه واریانس (ANOVA) و گروه‌بندی میانگین‌ها توسط آزمون توکی انجام شد. در این تحقیق برای دسته‌بندی داده‌ها و ترسیم جدولها و نمودارها از نرم‌افزار Excel و برای تجزیه و تحلیل داده‌ها از نرم‌افزار MINITAB 16 استفاده شد.

نتایج

جدول ۲ خلاصه‌ای از تجزیه واریانس خواص فیزیکی و مقاومت به پوسیدگی را نشان می‌دهد.

پلاستیک‌ها به طور کلی در برابر حمله قارچی مقاوم می‌باشند، بنابراین کاهش وزن براساس وزن خشک نرمه امدی‌اف (WL_w) مطابق فرمول زیر محاسبه شد.

$$WL_w \% = [(W_{01} - W_{02}) / (X \times W_{01})] \times 100 \quad (\text{رابطه ۴})$$

W_{01} : وزن خشک قبل از مجاورت با قارچ

W_{02} : وزن خشک بعد از مجاورت با قارچ

X : نسبت نرمه امدی‌اف

$$CWL = WL_1 - WL_2 \quad (\text{رابطه ۵})$$

CWL : درصد کاهش وزن

WL_1 : درصد کاهش وزن پس از مجاورت با قارچ

WL_2 : درصد کاهش وزن در محیط استریل (بدون قارچ)

محاسبه درصد رطوبت

میزان رطوبت (MC) نمونه‌های چندسازه بعد از هر چرخه جوشاندن و خشک‌کردن و قبل و بعد از پوسیدگی با استفاده از رابطه زیر اندازه‌گیری شد.

$$MC \% = [(W_h - W_0) / W_0] \times 100 \quad (\text{رابطه ۶})$$

W_h : وزن مرطوب

W_0 : وزن خشک

بدلیل جذب آب ناچیز پلی‌اتیلن، با فرض بر اینکه کل آب توسط نرمه امدی‌اف جذب شده است، درصد رطوبت

جدول ۲- خلاصه تجزیه واریانس تأثیر مستقل و متقابل متغیرها بر خواص فیزیکی و مقاومت به پوسیدگی

منبع تغییرات	درجه آزادی	جذب آب (%)	واکسیدگی ضخامت (%)	کاهش وزن (%)
		۲	۲	۲۴
		ساعت	ساعت	ساعت
عامل جفت‌کننده	۲	۰/۰۰۰***	۰/۰۰۳***	۰/۰۰۰***
نانورس	۳	۰/۰۰۱**	۰/۷۴۱ ^{ns}	۰/۰۰۰***
عامل جفت‌کننده * نانورس	۶	۰/۰۰۱**	۰/۰۰۳***	۰/۰۰۰***

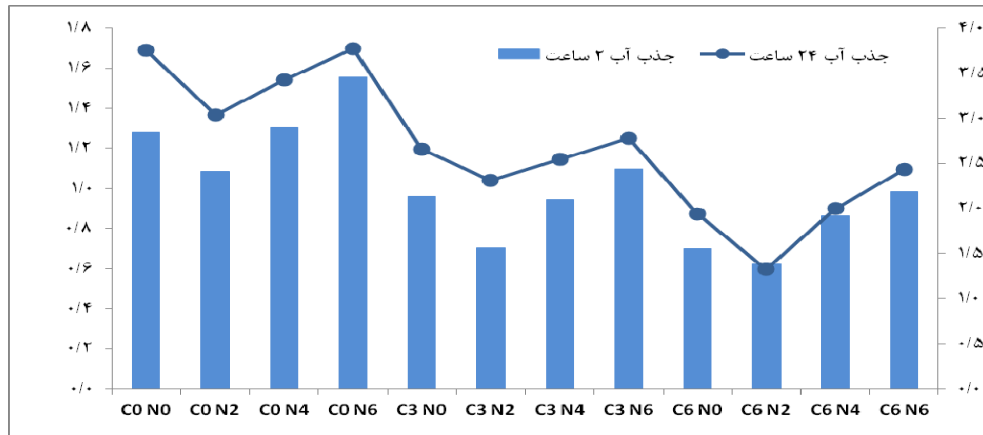
*** معنی‌دار در سطح اطمینان ۹۹ درصد، * معنی‌دار در سطح اطمینان ۹۵ درصد، ns عدم معنی‌دار

تیمارهای مختلف، مشخص شد که اثر ماده جفت‌کننده و نانورس بر میزان جذب آب معنی‌دار است. نمونه‌های حاوی ۶ درصد ماده جفت‌کننده دارای کمترین جذب آب بودند و با

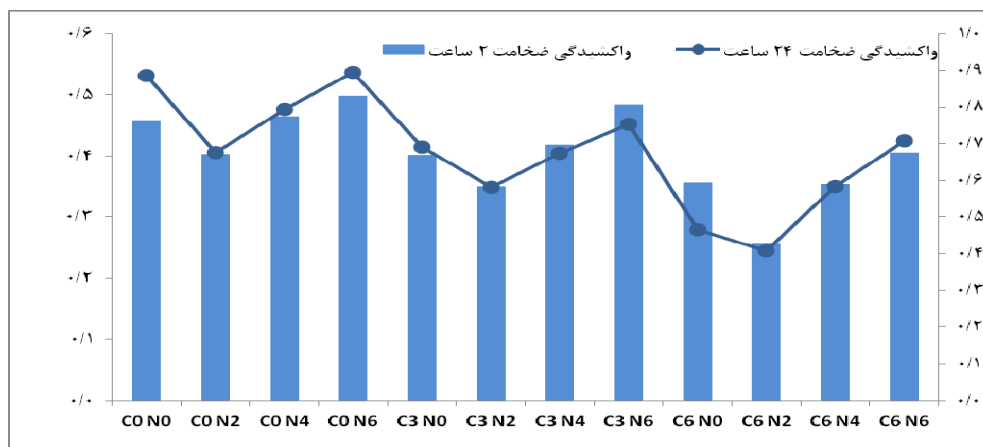
جذب آب پس از ۲ و ۲۴ ساعت غوطه‌وری در آب براساس نتایج تجزیه واریانس (جدول ۲) و شکل ۱ و همچنین میانگین جذب آب ۲ و ۲۴ ساعت نمونه‌های

کاهش مقدار ماده جفت‌کننده از ۶ به ۳ و بعد ۰ درصد جذب آب به طور معنی‌داری افزایش می‌یابد. با توجه به شکل ۱ کمترین مقدار جذب آب مربوط به نمونه‌های آزمایشی ساخته شده با ترکیب ۶ درصد وزنی عامل جفت‌کننده و ۲ درصد نانورس است. افزایش میزان نانو

کاهش مقدار ماده جفت‌کننده از ۶ به ۳ و بعد ۰ درصد جذب آب به طور معنی‌داری افزایش می‌یابد. با توجه به شکل ۱ کمترین مقدار جذب آب مربوط به نمونه‌های آزمایشی ساخته شده با ترکیب ۶ درصد وزنی عامل جفت‌کننده و ۲ درصد نانورس است. افزایش میزان نانو



شکل ۱- اثر عامل جفت‌کننده و نانورس بر جذب آب ۲ و ۲۴ ساعت



شکل ۲- اثر عامل جفت‌کننده و نانورس بر واكشیدگی ضخامت ۲ و ۲۴ ساعت

واكشیدگی ضخامت مربوط به شماره ۱۰ با ترکیب ۶ درصد وزنی عامل جفت‌کننده و ۲ درصد نانورس است. افزایش میزان نانو تا سطح ۲ درصد باعث کاهش واكشیدگی ضخامت شده و با افزایش ۴ و ۶ درصدی نانورس واكشیدگی ضخامت افزایش می‌یابد. طبق جدول ۲ کاهش میزان واكشیدگی ضخامت ۲ ساعت در اثر نانورس معنی‌دار نیست.

واكشیدگی ضخامت پس از ۲ و ۲۴ ساعت غوطه‌وری در آب براساس نتایج تجزیه واریانس (جدول ۲) و شکل ۲ و همچنین میانگین واكشیدگی ضخامت ۲ و ۲۴ ساعت نمونه‌های تیمارهای مختلف، مشخص شد که اثر ماده جفت‌کننده و نانورس و اثر متقابل آنها بر میزان واكشیدگی ضخامت معنی‌دار است. نمونه‌های حاوی ۶ درصد ماده جفت‌کننده دارای کمترین واكشیدگی ضخامت بودند. با توجه به شکل ۱ کمترین مقدار

عامل جفت‌کننده، پس از ۱۲ هفته مجاورت با قارچ *T. versicolor* در جدول ۲ ارائه شده است.

کاهش وزن در اثر پوسیدگی مقادیر درصد کاهش وزن نمونه‌های فراورده چندسازه پیش‌تیمار شده با درصدهای مختلف نانورس و

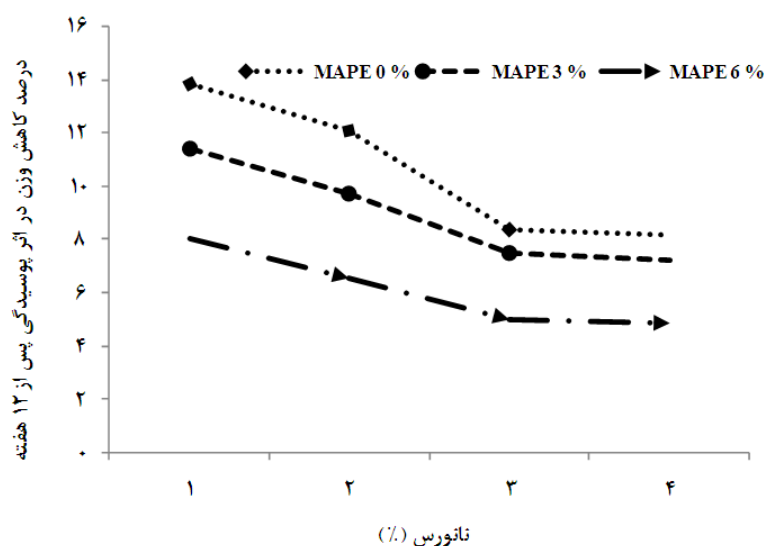
جدول ۳- میانگین کاهش وزن چندسازه و نرمه MDF در اثر پوسیدگی به وسیله قارچ *T. versicolor*

میانگین کاهش وزن نرمه MDF (%)	میانگین کاهش وزن چندسازه (%)	نانورس (%)	MAPE (%)
۲۷/۸۰	۱۳/۹۰	۰	
۲۴/۱۹	۱۲/۰۹	۲	
۱۶/۸۳	۸/۴۱	۴	
۱۶/۴۰	۸/۲۰	۶	
۲۲/۸۹	۱۱/۴۴۷	۰	
۱۹/۴۶	۹/۷۳	۲	۳
۱۵/۰۰	۷/۵۰	۴	
۱۴/۵۳	۷/۲۶	۶	
۱۶/۱۲	۸/۰۶	۰	
۱۳/۰۷	۶/۵۳	۲	۶
۹/۹۹	۴/۹۹	۴	
۹/۸۳	۴/۹۱	۶	

درصد رطوبت نمونه‌های فراورده چندسازه در پایان آزمون پوسیدگی

درصد رطوبت فراورده چندسازه تیمار شده با نانورس و نرمه MDF در انتهای آزمون پوسیدگی در اثر *T. versicolor* در جدول ۴ نشان داده شده است. میزان رطوبت بعد از پوسیدگی در نمونه‌های فراورده چند سازه فاقد نانورس و عامل جفت‌کننده قابل توجه بود. نمونه‌های دارای ۶ درصد نانورس و ۶ درصد عامل جفت‌کننده که کاهش وزن کمتری داشتند، درصد رطوبت کمتری نیز داشتند. همچنین رابطه بین کاهش وزن در اثر پوسیدگی و رطوبت چندسازه و رطوبت نرمه MDF در پایان پوسیدگی در شکل ۴ و شکل ۵ آمده است.

همان‌گونه که مشاهده می‌شود با افزایش میزان ماده جفت‌کننده و نانورس مقاومت به پوسیدگی چندسازه بیشتر می‌شود. جدول ۲ اثر مستقل و متقابل سطوح مختلف نانورس و ماده جفت‌کننده بر مقاومت به پوسیدگی چندسازه ساخته شده را نشان می‌دهد. با توجه به جدول مشخص است که اثر مستقل و متقابل نانورس و عامل جفت‌کننده در سطح ۰/۹۹ درصد معنی‌دار است. با توجه به شکل ۳، کمترین میزان کاهش وزن در اثر پوسیدگی از تیمار شماره ۱۲ حاصل از ترکیب ۶ درصد وزنی عامل جفت‌کننده حاوی ۶ درصد نانورس و کمترین میزان مقاومت به پوسیدگی مربوط به تیمار شماره ۱ (CON0) که فاقد نانورس و عامل جفت‌کننده است، حاصل گردیده است.

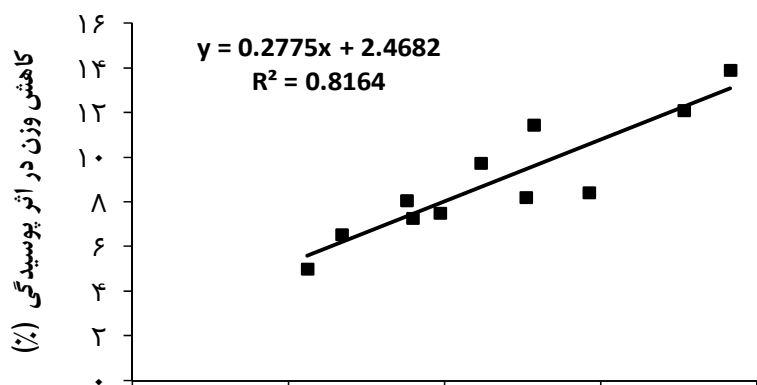


شکل ۳- تغییرات کاهش وزن در اثر پوسیدگی در سطوح مختلف ذرات نانو رُس و عامل جفت کننده

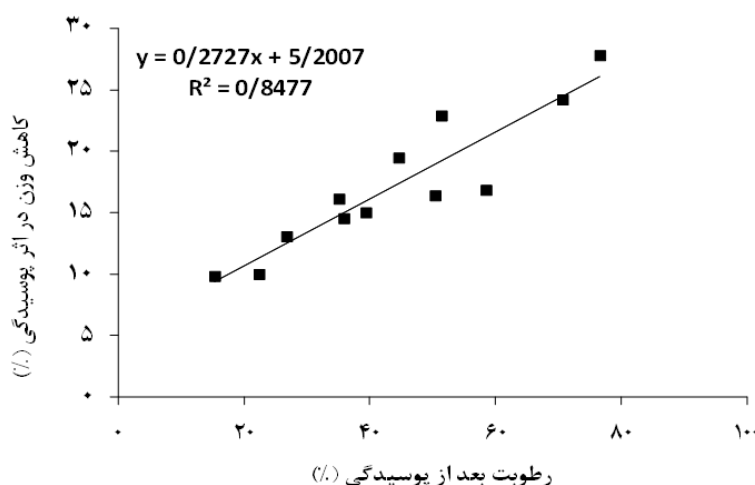
جدول ۴- درصد رطوبت نمونه‌های فراورده چندسازه و نرمة MDF در پایان آزمون پوسیدگی

رطوبت نرمة MDF (%)	رطوبت چندسازه (%)	نانورس (%)	MAPE (%)
۷۶/۶۱	۳۸/۳۰	۰	
۷۰/۶۶	۳۵/۳۳	۲	
۵۸/۵۰	۲۹/۲۵	۴	
۵۰/۴۲	۲۵/۲۱	۶	
۵۱/۴۱	۲۵/۷۰	۰	
۴۴/۶۳	۲۲/۳۱	۲	۳
۳۹/۴۰	۱۹/۷۰	۴	
۳۵/۹۰.۱	۱۷/۹۵	۶	
۳۵/۱۲	۱۷/۵۶	۰	
۲۶/۷۹	۱۳/۳۹	۲	۶
۲۲/۴۰	۱۱/۲۰	۴	
۱۵/۳۴	۷/۶۷	۶	

با توجه به جدول ۴ مشاهده می‌شود که جذب آب نرمة MDF نیز پس از آزمون پوسیدگی قابل توجه بوده است.



شکل ۴- رابطه بین کاهش وزن و رطوبت چندسازه در پایان آزمون پوسیدگی



شکل ۵- رابطه بین کاهش وزن و رطوبت نرمه MDF در پایان آزمون پوسیدگی

بحث

گروه‌های هیدروکسیلی بیشتری از چوب استری می‌شوند و بدین ترتیب میزان گروه‌های هیدروکسیلی آزاد در دسترس برای واکنش با مولکول‌های آب کاهش می‌یابد (Ashori; 2010; Han *et al.*; 2008). از آنجا که عامل جفت‌کننده سبب کاهش جذب آب در چندسازه می‌شود و یکی از شرایط لازم جهت رشد و حمله قارچ رطوبت بالای ۲۰ درصد است، بنابراین افزایش درصد عامل جفت‌کننده سبب افزایش مقاومت به پوسیدگی می‌شود. همچنین عامل سازگارکننده بر روی گروه‌های هیدروکسیلی اثر گذاشته و با درگیر کردن آنها موجب کاهش جذب رطوبت و در نتیجه کاهش فعالیت قارچ رنگین‌کمان می‌شود (Kartal & Karimi *et al.*, 2003; Green; 2008; Ghorbani, 2008).

تولید چندسازه چوب پلاستیک با الیاف طبیعی قطبی دارای واحدهای تکرارشونده سلولزی، سبب افزایش گروه‌های هیدروکسیلی آزاد در سطح و در نهایت افزایش جذب آب و واکنش‌پذیری ضخامت می‌شود (Sandy, 1999). از این رو عامل جفت‌کننده یا سازگارکننده با ایجاد پیوندهای شیمیایی بین الیاف و ماده زمینه همانند پلی موجب تقویت اتصال در سطح مشترک بین دو فاز و در نتیجه بهبود ویژگی‌های ماده مرکب می‌شود (Lu *et al.*, 2000). افزایش عامل جفت‌کننده سبب انجام واکنش‌های استری بین گروه‌های هیدروکسیلی مالئیک انیدرید پلی‌اتیلن و گروه‌های هیدروکسیلی نرمه MDF می‌شود که این واکنش باعث کاهش تماس مولکول‌های آب با گروه‌های هیدروکسیلی آزاد نرمه MDF می‌شود. بنابراین با افزایش مالئیک انیدرید پلی‌اتیلن

همکاران (۲۰۰۸) ترک‌ها و منافذ راهی برای ورود ریشه‌های قارچ به درون چندسازه هستند، بنابراین می‌توان گفت با کاهش فضای خالی امکان ورود ریشه‌های قارچ به داخل چندسازه سخت‌تر شده و مقاومت در برابر پوسیدگی بیشتر می‌شود. از طرف دیگر به دلیل تمایل نانورس به جذب رطوبت، می‌توان گفت بیشتر جذب آب توسط نانورس صورت گرفته و نانورس به صورت یک مانع جذب رطوبت توسط الیاف چوب عمل می‌کند، بنابراین نرمه MDF که منبع اصلی تأمین رطوبت قارچ است با افزایش نانورس رطوبت کمتری را جذب کرده و باعث کاهش عملکرد قارچ می‌شود؛ اما اختلاف کاهش وزن در اثر پوسیدگی چندسازه‌های محتوی ۴ درصد و ۶ درصد معنی‌دار نشد. البته عدم معنی‌داری ممکن است از انباشته شدن ذرات نانورس و عدم توزیع یکنواخت این ذرات در چندسازه ناشی شده باشد.

منابع مورد استفاده

- Ashori, A., 2010. Hybrid Composites from Waste Materials. *J Polym Environ*, 18:65–70.
- ASTM, 1999. American Standards Testing Method D1413-99 Standard Test Method for wood preservatives by laboratory Soil-Block cultures. Pp: 214-220
- Crookston, K.A., Young, T.M., Harper, D. and Guess, F.M., 2011. Statistical reliability analyses of two wood plastic composite extrusion processes. *Reliability Engineering and System Safety*, 96, 172–177.
- Gan, Q., Allen, S.J. and Matthews, R., 2004. Activation of waste MDF sawdust charcoal and its reactive dye adsorption characteristics. *Waste Management*, 4, 841 – 848.
- Ghorbani Vaghei, A., Omidvar, A., Rafighi, A. and Razavi, A., 2008. Investigation the decay resistance and water absorption of bagasse- Polypropylene composite. MSc thesis, agricultural science and natural resource of Gorgan university.
- Han, G., Lei, Y., Wu, Q., Kujima, Y., Suzuki, S., 2008. Bamboo-Fiber Filled High Density Polyethylene Composites: Effect of Coupling Treatment and Nanoclay. *J Polym Environ*, 16:123–130.
- Karimi, A. N., Tajvidi, M., and Pourabbasi, S., 2007. Effect of Compatibilizer on the Natural Durability of Wood Flour/High Density Polyethylene Composites Against Rainbow Fungus (*Coriolus versicolor*). *Polym. Compos.*, 28:273–277.
- Kartal, N. S., Green, F., 2003. Decay and termite resistance of medium density fiberboard (MDF)

تأثیر نانورس بر خواص جذب آب و واکنش‌پذیری ضخامتی به مراتب کمتر از تأثیر ماده جفت‌کننده است. البته بهبود ویژگی‌های فیزیکی در اثر افزودن ۲ درصد نانورس به چندسازه می‌تواند ناشی از حضور ذرات نانورس در فضاهای خالی بین اجزا چندسازه و ایجاد بافت فشرده‌تر در آن باشد (Modirrahmati و همکاران، ۲۰۱۲). همچنین می‌توان بیان کرد که نفوذناپذیری ذرات نانورس از نفوذ آب به درون ماتریس جلوگیری می‌کند. از طرف دیگر به دلیل داشتن ضریب ظاهری بالا باعث طولانی‌تر شدن و پر پیچ و خم شدن مسیر عبور مولکول‌ها در ماتریس پلیمری می‌شود. در هنگام جذب آب، ابتدا دیواره سلولی اشباع می‌شود و در مرحله بعد آب وارد حفره سلولی شده و انتشار می‌یابد. از آنجایی که در سطح کمتر نانورس (۲ درصد)، ذرات نانو در حفرات سلولی و فضاهای خالی سلول قرار گرفته‌اند، این وضعیت باعث جلوگیری از نفوذ آب توسط فرایند موئینگی شده و مانع از انتشار آن می‌شود؛ بنابراین جذب آب فقط در سطح صورت می‌گیرد (Tasouji و همکاران، ۲۰۱۲). در مقادیر بالاتر نانورس (۴ و ۶ درصد) نانو خارج از فضاهای سلولی ماده لیگنوسلولزی و در معرض مستقیم جذب آب بوده و به دلیل خاصیت آب‌دوستی نانو به‌ویژه نانورس مونت موریلونیت (MMT) به دلیل داشتن کاتیون سدیم، جذب آب و واکنش‌پذیری ضخامتی افزایش می‌یابد (Yeh & Gupta, 2010; Paralikar et al, 2008; Magalhaes et al, 2009). در بررسی اثر نانورس روی مقاومت به پوسیدگی، با توجه به نتایج می‌توان گفت استفاده از نانورس تأثیر مثبت روی مقاومت به پوسیدگی داشته و سبب کاهش پوسیدگی می‌شود. بهبود مقاومت به پوسیدگی حکایت از عملکرد حفاظتی نانورس دارد. طبق گفته Sing et al., (Krishnamoorti & Vaia & Giannelis 2001; 2010); Vaia 2000; نانو ذرات در مقایسه با پرکننده‌های سائز میکرون سطح ویژه بالاتری دارند. در بین این نانو ذرات، نانورس به دلیل داشتن لایه‌های سیلیکاتی و در نتیجه سطح ویژه بالاتر خاصیت ویژه‌ای در افزایش خواص ممانعتی و از این رو افزایش مقاومت در برابر تخریب‌های محیط زیستی دارد. با افزایش میزان نانورس تا ۶ درصد مقاومت به پوسیدگی افزایش می‌یابد. این پدیده می‌تواند ناشی از حضور ذرات ریز نانورس در فضای خالی بین اجزا چندسازه و ایجاد بافت فشرده‌تر در آن باشد

- by two stage mixing process. *Iranian Journal of Wood and Paper Science Research*, 27 (4), 635 – 645. (In Persian)
- Najafi. A., Faezipoor. M., Khademi eslam. H., Kazemi Najafi. S., and Hemmasi. A. H., 2008. Flexural Properties of Wood-Plastic Composites Made From Lignocellulosic Fillers and Recycled High Density Polyethylene Manufactured Using a Dry Blend/Hot Press Method. *Iranian Journal of Wood and Paper Science Research*, 22 (2), 109 – 120. (In Persian)
- Paralikar, Sh, A., Simonsen, J., Lombardi, J., 2008, Poly (vinyl alcohol)/cellulose nano crystal barrier membranes. *Journal of Membrane Science*, 320, 248-258.
- Sanadi, A. R., Caulfield, D. F., Stark, N. M. and Clemons, C., 1999. Thermal and mechanical analysis of lignocellulosic polypropylene composites. Fifth international conference on wood fiber- plastic composites, May 26-27, Madison, Wisconsin.
- Singh. R. P., Khait. M., Zunjarrao. S. C., Korach. C. S., and Pandey. G., 2010. Environmental degradation and durability of epoxy-clay nanocomposites. *Nanomaterials*, 2010, Article ID 352746, 13 pages.
- Tasooji, M., Nourbakhsh, A., Kargarfard. A., and Hosseinkhani, H., 2012. The effect of lignocellulosic material and nanoclay on physical, mechanical and morphological properties of wood plastic composite. *Iranian Journal of Wood and Paper Science Research*. 27 (2), 189 – 201. (in Persian)
- Vaia. R. A., and Giannelis, E.P., 2001. polymer nanocomposites: status and opportunities. *MRS Bulletin*, 5(26): 394–401.
- Yeh, S.K; Gupta, R.K., 2010. Nanoclay –reinforced polypropylene- based wood clay plastic composites. *Polymer Engineering and Science*, DOI.10.1002/Pen.21729.
- Zhang, Y., Zhang, S. Y., and Choi, P., 2008. Effects of wood fiber content and coupling agent content on tensile properties of wood fiber polyethylene composites. *Holz Roh Werkst*, 66, 267 – 274.
- made from different wood species. *International biodeterioration and biodegradation*. 51: 29-35.
- Kord. B., Jari. E., Najafi. A., and Tazakorrezaie, V., 2012. Effect of nanoclay on the decay resistance and physicochemical properties of natural fiber-reinforced plastic composites against white-rot fungi (*Trametes versicolor*). *Journal of Thermoplastic Composite Materials*. Published online before print November 20, 2012, doi: 10.1177/0892705712465302.
- Krishnamoorti. R., and Vaia. R. A., 2000. Polymer nanocomposites: synthesis, characterization, and modeling in *Proceedings of the 219th National Meeting of the American Chemical Society*, San Francisco, Calif, USA.
- Lei, Y., Wu, Q., Clemons, C.M., Yao, F., and Xu, Y., 2007. Influence of Nanoclay on Properties of HDPE/Wood Composites. *J Appl Polym Sci*, 106: 3958–3966.
- Lu, J.Z., Q. Wu, H.S. and McNabb, Jr., 2000. Chemical coupling in wood fiber and polymer composites: A review of coupling agents and treatments. *Wood Fiber Science*, 32: 88-104.
- Madhoushi, M., Chavooshi, A., 2012. Investigation on the withdrawal strength of screw, nail and water absorption of Nanoclay-MDF dust-PP composite. *Iranian Journal of Wood and Paper industries*, 1(4), 53- 66. (In Persian)
- Magalhaes, N.F., and Andrade, C.T., 2009, Thermoplastic corn starch/clay hybrids: effect of clay type and content on physical properties. *Carbohydrate Polymers*, 75, 712-718.
- Modirrahmati, S., Jahan-Latibari. A., Nurbakhsh, A., Roohnia, M., and Minaei, M., 2012. The impact of nanoclay on the performance of polypropylene/OCC fibers/nanoclay composite. *Iranian Journal of Wood and Paper Science Research*, 27 (3), 373 – 385. (In Persian)
- Modirrahmati, S., Jahan-Latibari. A., and Minaei, M., 2012. The influence of nanoclay on the performance of HDPE/ wheat straw powder composite produced

Investigation the physical properties and decay resistance of medium density fiberboard sanding dust/high density polyethylene/nanoclay composite

BehzadiShahrebabk, A.^{1*}, Madhoushi, M.² and MastriFarahani, M.R.³

1*- Corresponding Author, M.Sc., graduated student of Wood and Paper Sciences and Technology Department, Faculty of Natural Resources, University of Gorgan, Iran, Email: a_behzadi@ymail.com

2- Associate Professor, Department of Wood and Paper Sciences and Industries, Agricultural science and Natural Resource University of Gorgan, Iran

3-Assistant Professor, Department of Wood and Paper Sciences and Industries, Agricultural science and Natural Resource University of Gorgan, Iran

Received: Nov., 2013

Accepted: April, 2014

Abstract

In this study, the effect of nanoclay and coupling agent on decay resistance and physical properties (including water absorption and thickness swelling) of nanoclay/Polyethylene/MDF sanding dust composite was investigated. MDF sanding dust and polyethylene were used as lignocellulose filler and thermoplastic matrix respectively. Also, two dosages (3% and 6%) of Maleic anhydride grafted polyethylene (MAPE) was used as a compatibilizer. Nanoclay, Cloisite®15A was used in three weight percentages (2%, 4% and 6%). First, the materials were compounded using twin-screw extruder and the extrudate was grounded to produce granules for panel fabrication. Then 36 panels, 30 cm × 28 cm × 1 cm, (12 treatments by 3 repetitions) were made by hot pressing to 1 g/cm³ nominal density. Then, water absorption and thickness swelling and decay resistant (loss weight) were measured. Specimens were exposed to *Trametes versicolor* for 3 months, according to ASTM-D1413 standard. The results showed that, water absorption and thickness swelling were significantly reduced with increasing MAPE. When 2% (phr) nanoclay was added, water absorption and thickness swelling was reduced significantly and then increased. Also, decay resistance was improved with increasing coupling agent and nanoclay.

Key words: Wood plastic, nanoclay, MAPE, decay resistance, water absorption, thickness swelling.