

تأثیر سیلیکا بر دوام طبیعی و ریخت‌شناسی چندسازه چوب پلاستیک در برابر قارچ رنگین کمان (*Trametes Versicolor*)

سعید اسمعیلی مقدم^{۱*}، افسانه شهرکی^۲، فاطمه دهدست^۲ و سمانه پورکریمی^۲

۱- نویسنده مسئول، باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان، واحد چالوس، دانشگاه آزاد اسلامی، چالوس، ایران

پست الکترونیک: Saeed.am17358@gmail.com

۲- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد فرآورده‌های چندسازه چوب، دانشگاه زابل

۳- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد حفاظت و اصلاح چوب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

تاریخ پذیرش: دی ۱۳۹۴

تاریخ دریافت: شهریور ۱۳۹۴

چکیده

این تحقیق با هدف بررسی تأثیر افزودن ذرات سیلیس بر دوام طبیعی و ریخت‌شناسی چندسازه چوب پلاستیک در برابر قارچ رنگین‌کمان (*Trametes Versicolor*) انجام شد. آرد چوب با نسبت وزنی ۶۰ درصد با پلی‌پروپیلن به همراه ۲ phc انیدرید مالئیک پلی‌پروپیلنی مخلوط گردید. نانو و میکرو سیلیس نیز با نسبت‌های وزنی ۰، ۱، ۳ و ۵ phc به‌عنوان پرکننده مورد استفاده قرار گرفتند. فرایند اختلاط در داخل دستگاه مخلوط‌کن داخلی انجام شد و نمونه‌های آزمون با استفاده از دستگاه تزریق ساخته شدند. نمونه‌های آزمون به مدت‌های ۸، ۱۲ و ۱۶ هفته در مجاورت قارچ رنگین‌کمان با دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۷۵ درصد مطابق با استاندارد BS 838:1961 قرار گرفتند. سپس کاهش جرم، جذب آب بلندمدت و ضریب انتشار رطوبت بر روی نمونه‌ها انجام شد. برای اطمینان از تشکیل پیوند هیدروژنی بین سیلیس و آرد چوب از طیف‌سنجی مادون قرمز (FTIR) و برای ریخت‌شناسی چندسازه‌ها از میکروسکوپ الکترونی پویشی (SEM) استفاده گردید. نتایج نشان داد که با افزایش زمان مجاورت نمونه‌ها در محیط قارچ، کاهش جرم، جذب آب بلندمدت و ضریب انتشار رطوبت در چوب پلاستیک افزایش یافت، اما با افزایش سیلیس، از شدت پوسیدگی نمونه‌ها کاسته شد. تأثیر نانو ذرات سیلیس بر دوام طبیعی چندسازه چوب پلاستیک بیشتر از تأثیر میکرو ذرات سیلیس بود. نتایج طیف‌سنجی مادون قرمز حکایت از ایجاد پیوند هیدروژنی بین آرد چوب و سیلیس داشت. نتایج میکروسکوپ الکترونی پویشی نیز نشان داد که با افزایش مجاورت نمونه‌ها با قارچ ترک‌های ریز و درشتی در چندسازه ایجاد گردید اما با افزایش سیلیس از میزان این ترک‌ها کاسته شد.

واژه‌های کلیدی: دوام طبیعی، ضریب انتشار رطوبت، قارچ رنگین‌کمان، نانو و میکرو سیلیس، کاهش وزن.

مقدمه

استفاده از الیاف طبیعی به عنوان یک ماده پرکننده و تقویت کننده در صنعت پلیمر منجر به تولید گروه جدیدی از مواد مرکب موسوم به چندسازه‌های چوب پلاستیک شده است. میزان استفاده از الیاف طبیعی در صنعت پلاستیک در طی سالیان اخیر ۸۰ درصد رشد داشته است (Sain et al., 2005). به منظور گسترش استفاده از الیاف طبیعی در صنعت چوب پلاستیک دشواری‌هایی مانند اتصال ضعیف بین الیاف طبیعی و مواد پلیمری، مستعد بودن الیاف طبیعی به تخریب گرمایی در طول فرایند ذوب شدن و تخریب محیطی مواد مرکب در طول زمان وجود دارد (Chow et al., 2007). از طرف دیگر با توجه به مستعد بودن الیاف لیگنوسلولزی مورد استفاده در چندسازه‌ها به تخریب توسط عواملی مانند قارچ‌ها و تأثیر زیاد پوسیدگی بر خواص فیزیکی و مکانیکی آنها، بررسی دوام این محصولات در برابر عوامل مخرب بیولوژیکی اهمیت ویژه‌ای دارد. مطالعه در رابطه با مقاومت به پوسیدگی چندسازه‌های چوب پلاستیک برای مصارف خارج از ساختمان بسیار مهم و ضروری است و بسیاری از تحقیقات پیشین نشان دادند که این چندسازه‌ها مستعد پوسیدگی هستند (Mankowski & Morrell, 2000; Morrell et al., 2006; Lomeli-Ramirez et al., 2009; Farahani & Saffarzadeh, 2011). قارچ رنگین‌کمان (*Trametes versicolor*) از خانواده (*Coriolaceae*) از قارچ‌های ساپروفیت شایع و خطرناک گونه‌های چوبی به‌ویژه پهن‌برگان می‌باشد و بشدت چوب را تخریب کرده و از مقاومت‌های آن می‌کاهد. البته در گذشته راهکارهای متفاوتی برای جلوگیری و یا کاهش خسارتهای ناشی از حمله قارچی مورد توجه پژوهشگران قرار گرفته است. از جمله این راهکارها می‌توان به کاهش درصد آرد چوب در ترکیب چندسازه (Pandleton et al., 2002)، افزایش درصد پلاستیک (Pendelton & Hoffard, 2002) و استفاده از الیاف چوبی به جای آرد چوب در ساخت چندسازه (Varhey & Lakes, 2002) اشاره کرد. اما امروزه رویکردهای جدیدی برای جلوگیری و یا کاهش میزان

پوسیدگی در اثر حملات قارچی مورد توجه پژوهشگران قرار گرفته است. از جمله این رویکردها می‌توان به استفاده از ذرات در مقیاس نانو اشاره کرد. البته در طی سالیان اخیر عده‌ای از پژوهشگران تأثیر نانو ذرات مختلف را بر روی دوام طبیعی چندسازه‌های چوب پلاستیک مورد مطالعه قرار داده‌اند.

Kord و همکاران (۲۰۱۴) به بررسی تأثیر نانو ذرات رس بر دوام طبیعی چندسازه آرد چوب- پلی پروپیلن در برابر قارچ رنگین‌کمان *Trametes Versicolor* پرداختند، آنان از سطوح مختلف نانورس برای ارزیابی تأثیرات آن بر روی دوام طبیعی چندسازه چوب پلاستیک استفاده کردند. نتایج مطالعه آنان نشان داد که با افزایش نانو ذرات رس میزان کاهش وزن و درصد جذب آب در چندسازه ساخته شده کاهش یافت. Farahani و Banikarim (۲۰۱۳) تأثیر نانو ذرات اکسید روی بر روی مقاومت به پوسیدگی چندسازه‌های چوب پلاستیک را در برابر قارچ‌های *Trametes Versicolor* و *Coniophora puteana* مورد مطالعه قرار دادند. نتایج مطالعه آنان نشان داد که با افزایش نانو ذرات اکسید روی میزان کاهش وزن در چندسازه‌های چوب پلاستیک کاهش یافت. آنان همچنین گزارش کردند که پوسیدگی ناشی از قارچ *Trametes Versicolor* شدیدتر از پوسیدگی ناشی از قارچ *Coniophora puteana* می‌باشد. Rasouli و همکاران (۲۰۱۵) تأثیر نانو اکسید روی و میکرو بورات روی را بر دوام طبیعی چندسازه حاصل از پلی اتیلن-چوب مورد بررسی قرار دادند. آنان از سطوح مختلف نانو اکسید روی و میکرو بورات روی (۰، ۱، ۲ و ۴ درصد) استفاده کردند. نتایج مطالعه آنان نشان داد که با افزایش نانو اکسید روی کاهش جرم در چندسازه چوب پلاستیک کاهش می‌یابد، در صورتی که میکرو بورات روی تأثیر معنی‌داری بر دوام طبیعی نمونه‌ها نداشته است. نتایج حاصل از میکروسکوپ الکترونی پوششی نیز حکایت از افزایش ترک‌ها و فضاهاى خالی در اثر حمله قارچی داشت. BehzadiShahrebabk و همکاران (۲۰۱۴) در رابطه با تأثیر نانو ذرات رس بر روی مقاومت به پوسیدگی چندسازه

مواد و روش‌ها

در این تحقیق، از آرد چوب توسکا (*Alnus subcordata*) با اندازه ابعاد ۴۲۵ میکرومتر (۶۰ مش) به‌عنوان تقویت‌کننده استفاده شد. از پلی‌پروپیلن با نام تجاری V30s از محصولات کارخانه پتروشیمی اراک، با شاخص جریان مذاب ۱۸ gr/۱۰ min و دانسیته ۰/۹ گرم بر سانتی‌متر مکعب به‌عنوان ماتریس پلیمری و از انیدرید مالئیک پلی‌پروپیلنی (PP-g-MA) از محصولات شرکت Slova کشور بلژیک با نام تجاری Priex 20070 و شاخص جریان مذاب ۶۴ gr/۱۰ min و میزان انیدرید پیوند خورده ۰/۱ درصد به‌عنوان ماده جفت‌کننده استفاده گردید. میکرو ذرات سیلیس با اندازه ابعاد ۱۵۰ میکرومتر از شرکت‌های عرضه‌کننده ایرانی و محلول نانو ذرات سیلیس که مشخصات آن در جدول ۱ آمده است از شرکت وند شیمی ساختمان (تهران) تهیه شد. برای کشت محیط کشت مطلوب برای رشد قارچ، از محیط کشت قارچ مالت اکستراکت آگار استفاده شد. قارچ خالص شده رنگین‌کمان نیز از مجتمع آزمایشگاهی دانشگاه آزاد اسلامی واحد چالوس تهیه گردید.

نانو رس-پلی‌اتیلن-نرزه تخته فیبر دانسیته متوسط به این نتیجه رسیدند که با افزایش نانو ذرات رس از میزان کاهش جرم، جذب آب، واکشیدگی ضخامت و میزان رطوبت در پایان آزمون پوسیدگی کاسته شد. همان‌طور که اشاره شد استفاده از نانو ذرات مختلف، به‌ویژه نانو ذرات معدنی باعث افزایش دوام چندسازه‌های چوب پلاستیک در برابر قارچ‌های مولد پوسیدگی (سفید و قهوه‌ای) خواهد شد. یکی از نانو ذرات معدنی دیگری که توان افزایش دوام طبیعی چوب و فرآورده‌های چوبی را دارد، نانو سیلیس است که با اندازه بسیار کوچک و سطح ویژه بالا دارای واکنش‌پذیری و قدرت پراکنش بسیار بالایی است (Xanthos, 2005). نانو سیلیس به دلیل منشأ معدنی خود و حالت ضد خوردگی که دارد شرایط را برای فعالیت قارچ دشوار می‌کند. از سوی دیگر نانو سیلیس باعث افزایش دانسیته و سختی چندسازه چوب پلاستیک و به تبع آن کاهش فضاهای قابل نفوذ برای قارچ خواهد شد؛ بنابراین با توجه به مطالب گفته شده و نظر به اینکه یک تحقیق کامل و جامع راجع به تأثیر سیلیس بر دوام طبیعی چندسازه‌های چوب پلاستیک تاکنون انجام نشده است، انجام این تحقیق ضروری به نظر می‌رسد.

جدول ۱- مشخصات نانو ذرات سیلیس

اندازه ذرات (nm)	سطح ویژه (m ² /g)	گرانروی (CP)	دانسیته (g/cm ³)	اسیدیته	رنگ
۷۰-۱۰۰	۲۴۰	۱۵	۲/۴	۹/۱	سفید

پیک موجود بر روی مانیتور شکسته شد و در این زمان ماده جفت‌کننده به داخل دستگاه ریخته شد. پس از ذوب شدن جفت‌کننده، در تیمارهایی که از میکرو سیلیس به‌عنوان پرکننده استفاده شده بود، میکرو سیلیس و آرد چوب با نسبت وزنی مشخص مخلوط و به داخل محفظه دستگاه ریخته شدند، اما در تیمارهای مربوط به نانو سیلیس، ابتدا محلول نانو سیلیس به مقدار وزنی مشخص توزین و بعد بر روی آرد چوب اسپری گردید و آرد چوب حاوی نانو سیلیس به داخل محفظه دستگاه ریخته شد. فرایند اختلاط تا ثابت شدن گشتاور پیچشی ادامه پیدا کرد که در حدود ۱۳ دقیقه برای هر

فرایند اختلاط مواد و ساخت نمونه‌های آزمونی قبل از انجام اختلاط، آرد چوب در داخل دستگاه آون به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۶۵±۲ سانتی‌گراد خشک شد. فرایند اختلاط مواد مطابق با جدول ۲ در داخل دستگاه مخلوط‌کن داخلی (HBI System 90, USA) در دمای ۱۹۰ درجه سانتی‌گراد و دور موتور ۶۰ دور بر دقیقه، واقع در پژوهشگاه پلیمر و پتروشیمی ایران انجام شد. ابتدا پلی‌پروپیلن به داخل محفظه دستگاه ریخته شد، سپس همزمان با ورود پلاستیک، بر روی مانیتور دستگاه پیکی ظاهر شد و به طرف بالا حرکت کرد. پس از آن که پلیمر به نقطه ذوب خود رسید

قالب‌گیری تزریقی ساخت شرکت ایمن ماشین تهران (ایران) با دمای ۱۸۵ سانتی‌گراد و فشار ۳ مگاپاسکال مطابق با استاندارد (۲۰۱۲) ASTM D3641-12 ساخته شدند. در نهایت نمونه‌ها قبل از انجام آزمون، در دمای آزمایشگاه (۲۳ درجه سانتی‌گراد) و رطوبت نسبی ۵۰ درصد به مدت ۴۰ ساعت مطابق با استاندارد (۲۰۱۳) ASTM D618-99 قرار داده شدند.

تیمار بود. سپس مواد داغ شکل‌پذیر به دست آمده از فرایند اختلاط پس از خارج شدن از داخل دستگاه مخلوط‌کن جمع‌آوری شد و پس از سرد شدن به منظور تهیه گرانول وارد دستگاه خردکن نیمه‌صنعتی شرکت Wieser مدل WG-LS 200/200 ساخت کشور آلمان شد. به منظور حذف رطوبت، گرانول‌ها به مدت ۴ ساعت در خشک‌کن با دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند و نمونه‌های آزمونی به روش

جدول ۲- طرح اختلاط تیمارهای مورد مطالعه

پلی پروپیلن (%)	آرد چوب (%)	جفت‌کننده ^۱ (phc)	میکرو سیلیس (phc)	نانو SiO ₂ (phc)
۴۰	۶۰	۲	-	-
۴۰	۶۰	۲	۱	-
۴۰	۶۰	۲	۳	-
۴۰	۶۰	۲	۵	-
۴۰	۶۰	۲	-	۱
۴۰	۶۰	۲	-	۳
۴۰	۶۰	۲	-	۵

1- Per hundred compounds

ظروف از قبل استریل شده کوله^۱ ریخته شد. قارچ مولد پوسیدگی سفید (*Trametes Versicolor*) در زیر هود آزمایشگاهی و در مجاورت شعله آتش به داخل ظروف منتقل گردید، ظروف حاوی محیط کشت قارچ و همچنین قارچ رنگین‌کمان به مدت ۲ هفته در داخل انکوباتور قرار داده شدند تا قارچ تمامی سطح کشت را بپوشاند. پس از آن که قارچ تمامی سطح کشت را پوشاند، نمونه‌های چوب پلاستیک در زیر هود آزمایشگاهی و در مجاورت آتش و توسط پنس استریل شده آزمایشگاهی به درون ظروف کوله منتقل شد و به مدت ۸، ۱۲ و ۱۶ هفته در داخل انکوباتور در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۷۵ درصد قرار داده شدند. پس از گذشت زمانهای یادشده، نمونه‌ها از داخل ظروف خارج شدند و ابتدا سطحی از نمونه که توسط میسلیوم قارچ پوشش داده شده بود محاسبه گردید و بعد آزمون ویلیتینیر (اثر ناخن) بر روی نمونه‌ها انجام شد.

کشت قارچ و انجام آزمون پوسیدگی

برای انجام آزمون پوسیدگی مطابق با استاندارد BS 838:1961 و روش انجام شده توسط (Kord et al., 2014; Hosseinihashmi et al., 2011) ابتدا نمونه‌هایی به ابعاد ۱۰۰×۱۳×۵ میلی‌متر تهیه شد. برای محاسبه وزن خشک، نمونه‌ها به مدت ۲۴ ساعت در دستگاه آون با دمای ۱۰۳ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند، آنگاه بعد از توزین و محاسبه وزن خشک، نمونه‌ها به مدت ۲۰ دقیقه در داخل اتوکلاو مرطوب با دمای ۱۲۶ درجه سانتی‌گراد و فشار ۲ بار استریل شدند. برای کشت قارچ از محیط کشت قارچ مالت اکستراکت آگار استفاده گردید. ۴۸ گرم پودر مالت اکستراکت آگار در یک لیتر آب حل شد و محلول در داخل اتوکلاو مرطوب با دمای ۱۲۶ درجه سانتی‌گراد و فشار ۲ بار به مدت ۱ ساعت قرار گرفت. پس از آماده شدن محیط کشت مالت اکستراکت آگار، این محلول به میزان ۱۲۰ گرم در زیر شعله آتش در داخل

1- Kolle flask

اندازه‌گیری‌ها

برای محاسبه درصد کاهش وزن، نمونه‌ها پس از زدودن میسیلیوم از روی سطحشان توزین شدند، سپس نمونه‌ها به مدت ۲۴ ساعت در آون با دمای ۱۰۳ درجه سانتی‌گراد خشک گردید و درصد کاهش جرم نمونه‌ها با استفاده از رابطه ۱ محاسبه شد؛ که در این روابط، $WLC =$ میزان کاهش جرم چندسازه (%)، $WLW =$ میزان کاهش جرم آرد چوب (%)، $Mb =$ وزن خشک نمونه قبل از پوسیدگی (گرم)، $Ma =$ وزن خشک نمونه بعد از پوسیدگی (گرم) و $X =$ نسبت آرد چوب می‌باشد. از هر تیمار ۵ نمونه به‌عنوان تکرار انتخاب شد. لازم به توضیح است که پلیمرهای ترموپلاستیک، نسبت به حمله قارچی مقاوم هستند، بنابراین کاهش جرم بر اساس وزن خشک آرد چوب از طریق رابطه ۲ محاسبه شد.

$$WLC = \frac{Mb - Ma}{Mb} \times 100 \quad (۱)$$

$$WLW = \frac{Mb - Ma}{X \times Mb} \times 100 \quad (۲)$$

برای آزمون جذب آب بلندمدت، ابتدا بهترین تیمار از لحاظ مقاومت به پوسیدگی (کامپوزیت حاوی ۵ درصد نانو سیلیس) انتخاب گردید و تحت این آزمون مطابق با استاندارد (ASTM D 7031-04 (2011) از بهترین تیمار از نظر دوام طبیعی در تمامی هفته‌ها، ۵ نمونه به‌عنوان تکرار انتخاب شد و در آون به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۱۰۳ درجه سانتی‌گراد خشک گردید. سپس وزن نمونه‌ها توسط ترازو با دقت ۰/۰۰۱ گرم اندازه‌گیری شد. نمونه‌ها در داخل آب با دمای ۲۱ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند. در ساعات موردنظر نمونه‌ها از داخل آب خارج شدند و وزن آنها دوباره اندازه‌گیری شد. این کار تا جایی ادامه پیدا کرد که دیگر تغییری در وزن نمونه‌ها مشاهده نشد؛ و در نهایت میزان جذب آب با استفاده از رابطه مربوطه برای هر ساعت محاسبه گردید. برای محاسبه ضریب انتشار رطوبت مطابق با قانون فیک عمل شد (Espert et al., 2004; Najafi & Khademi-Eslam, 2011). از دیدگاه نظری ضریب انتشار

رطوبت با شیب منحنی جذب آب و با استفاده از رابطه ۳ محاسبه می‌شود؛ که در آن M_t جذب آب در زمان t ، M_{sat} میزان رطوبت اشباع، K و n نیز ضریب‌های ثابت هستند. برای اطمینان از رفتار جذب آب طولانی‌مدت با نظریه فیک می‌توان از رابطه ۴ که لگاریتم رابطه ۳ می‌باشد، استفاده کرد. اگر ضریب X که از معادله رگرسیون نمودار آن حاصل می‌شود کمتر از ۰/۵ باشد، نشان‌دهنده پیروی رفتار جذب آب طولانی‌مدت فرآورده مرکب با قانون فیک است. در نهایت ضریب انتشار رطوبت با استفاده از رابطه ۵ محاسبه خواهد شد؛ که در اینجا L ضخامت نمونه برحسب متر و D ضریب انتشار رطوبت برحسب مترمربع بر ثانیه می‌باشد. لازم بذکر است که ضریب انتشار رطوبت در این تحقیق، به روش تئوری و غیرمستقیم محاسبه شده است.

$$\frac{M_t}{M_{sat}} = K t^n \quad (۳)$$

$$\text{LOG} \left\{ \frac{M_t}{M_{sat}} \right\} = \text{LOG}(K) + n \text{LOG}(t) \quad (۴)$$

$$\frac{M_t}{M_{sat}} = \frac{4}{L} \left\{ \frac{D}{\pi} \right\}^{0.5} t^{0.5} \quad (۵)$$

برای اطمینان از ایجاد پیوند هیدروژنی بین گروه‌های هیدروکسیل ذرات سیلیس با گروه‌های هیدروکسیل آرد چوب از طیف‌سنجی تبدیل فوریه مادون قرمز استفاده شد. برای این منظور از دستگاه طیف‌سنجی مادون قرمز، مدل TENSOR 27 ساخت کارخانه BRUKER آلمان واقع در دانشگاه زابل استفاده گردید. ابتدا قسمتی از خرده‌های گرانول تهیه شده پس از انجام مخلوط‌سازی توسط دستگاه اکسترودر با ماده برمیدپتاسیم مخلوط و به وسیله پرس دستی فشرده شد. سپس دیسک تولید شده در داخل سلول دستگاه تحت تابش اشعه مادون قرمز در دامنه ۴۰۰ تا 4000 cm^{-1} قرار گرفت. در نهایت تجزیه و تحلیل طیف‌سنجی از طریق شدت طیف و جذب در نواحی مختلف انجام شد. برای مطالعه ریخت‌شناسی تأثیر قارچ مولد پوسیدگی سفید بر روی چندسازه‌های چوب پلاستیک از میکروسکوپ الکترونی پویشی مدل EM3200، ساخت شرکت KYKY کشور چین با ولتاژ ۲۰ کیلوولت و محدوده بزرگنمایی صفر تا ۷۵۰۰۰ برابر استفاده شد.

روی کاهش وزن چندسازه‌های چوب پلاستیک پس از ۸، ۱۲ و ۱۶ هفته مجاورت نمونه‌ها در برابر قارچ رنگین‌کمان به صورت خلاصه در جدول ۳ نشان داده شده است. همان‌طور که در این جدول می‌توان مشاهده کرد، تأثیر مستقل نوع سیلیس، تأثیر مستقل سطوح سیلیس و تأثیر متقابل این دو فاکتور بر روی کاهش جرم چندسازه‌های چوب پلاستیک در تمامی هفته‌ها در سطح اطمینان ۹۹ درصد دارای اختلاف معنی‌دار می‌باشد.

تجزیه و تحلیل نتایج با استفاده از نرم‌افزار آماری SPSS در قالب طرح فاکتوریل انجام شد و در صورت وجود تفاوت معنی‌دار بین سطوح از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح اطمینان ۹۵ درصد برای مقایسه میانگین‌ها استفاده شد. همچنین برای رسم نمودارها از نرم‌افزار excel استفاده شد.

نتایج

تجزیه و تحلیل آماری حاصل از آنالیز واریانس بر

جدول ۳- مقدار F و سطح معنی‌داری حاصل از آنالیز واریانس

نوع آزمایش	هفته	نوع سیلیس	سطوح سیلیس	نوع سیلیس × سطوح سیلیس
کاهش جرم	۸	۶۵/۱۳۰ **	۱۲۱/۱۴۰ **	۸/۱۸۸ **
کاهش جرم	۱۲	۱۶۶/۴۸۴ **	۱۴۴/۸۸۲ **	۱۸/۷۶۰ **
کاهش جرم	۱۶	۳۴۰/۳۰۰ **	۴۶۱/۷۹۵ **	۴۶/۱۲۶ **

(**): سطح معنی‌داری ۹۹ درصد

جدول ۴- سطح پوشش چندسازه چوب پلاستیک توسط میسیلیوم قارچ رنگین‌کمان و کد معیار ویلیتینر

اثر ناخن	میانگین پوشش میسیلیوم (درصد)	مدت مجاورت (هفته)	تیمار
۱ تا ۲a	۱۰۰	۸	نمونه شاهد
۱ تا ۲a	۱۰۰	۱۲	
۳a تا ۲b	۱۰۰	۱۶	
۱	۹۰	۸	۱ درصد نانو سیلیس، ۱ و ۳ درصد
۱ تا ۲a	۱۰۰	۱۲	
۱ تا ۲a	۱۰۰	۱۶	
۱	۸۵	۸	۳ درصد نانو سیلیس، ۵ درصد
۱	۱۰۰	۱۲	
۱ تا ۲a	۱۰۰	۱۶	
۱	۸۰	۸	۵ درصد نانو سیلیس
۱	۱۰۰	۱۲	
۱	۱۰۰	۱۶	

همچنین کاهش جرم آرد چوب افزایش می‌یابد. از طرف دیگر با افزایش مقدار سیلیس، از میزان کاهش جرم کاسته شد. همچنین چندسازه‌های ساخته شده با نانو سیلیس در مقایسه با چندسازه‌های تقویت شده با میکرو سیلیس در برابر قارچ رنگین‌کمان کاهش جرم کمتری داشتند.

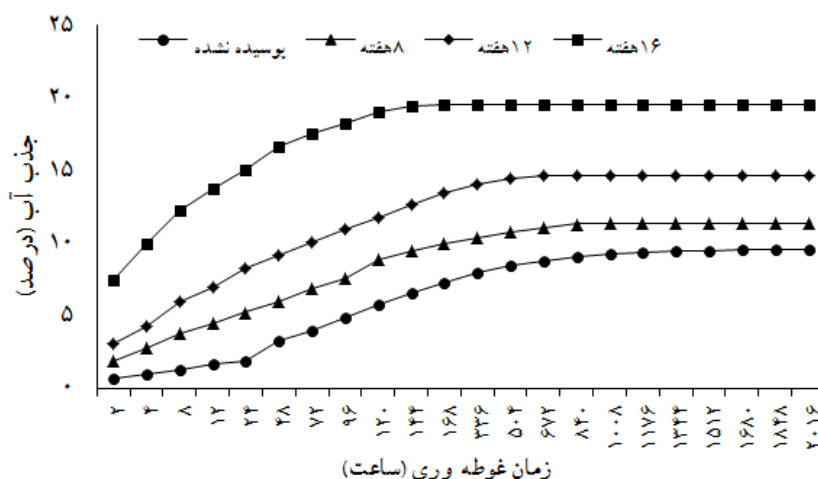
مقادیر میانگین کاهش جرم چندسازه چوب پلاستیک و همچنین کاهش جرم آرد چوب پس از ۸، ۱۲ و ۱۶ هفته مجاورت نمونه‌ها در برابر قارچ رنگین‌کمان در جدول ۵ نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، با افزایش مدت زمان مجاورت نمونه‌ها در برابر قارچ رنگین‌کمان، درصد کاهش جرم چندسازه چوب پلاستیک و

جدول ۵- مقادیر کاهش وزن و انحراف معیار چندسازه چوب پلاستیک و آرد چوب

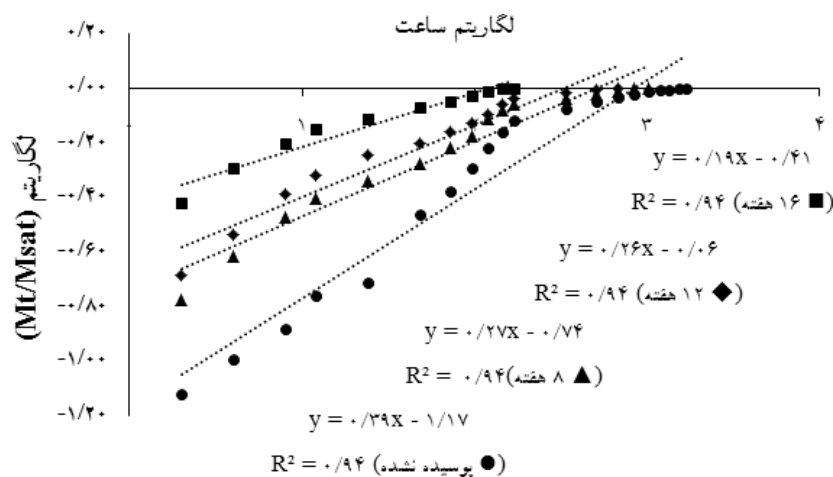
نوع سیلیس		۸ هفته		۱۲ هفته		۱۶ هفته	
نانو سیلیس (phc)	میکرو سیلیس (phc)	کاهش وزن چندسازه (%)	کاهش وزن آرد چوب (%)	کاهش وزن چندسازه (%)	کاهش وزن آرد چوب (%)	کاهش وزن چندسازه (%)	کاهش وزن آرد چوب (%)
-	-	۲/۲۳±۰/۱۵	۳/۷۲±۰/۲۵	۳/۲۳±۰/۱۳	۵/۳۸±۰/۲۱	۴/۱±۰/۰۷	۶/۸۳±۰/۱۲
۱	-	۱/۸±۰/۱۱	۳±۰/۱۹	۲/۴۹±۰/۰۸	۴/۱۵±۰/۱۴	۳/۰۱±۰/۰۱	۵/۰۲±۰/۱۷
۳	-	۱/۵۳±۰/۱۷	۲/۵۵±۰/۲۸	۲/۱۸±۰/۰۹	۳/۶۳±۰/۱۵	۲/۸۸±۰/۰۷	۴/۸±۰/۱۳
۵	-	۱/۰۱±۰/۰۵	۱/۶۸±۰/۰۹	۱/۸۹±۰/۰۹	۳/۱۵±۰/۱۶	۲/۲۸±۰/۰۹	۳/۷۹±۰/۱۶
-	۱	۲/۳±۰/۱۲	۳/۸۳±۰/۲	۳/۰۶±۰/۰۱	۵/۱±۰/۱۶	۳/۸۱±۰/۰۸	۶/۳۶±۰/۱۴
-	۳	۱/۸۴±۰/۰۹	۳/۰۷±۰/۱۶	۲/۸±۰/۰۹	۴/۶۶±۰/۱۶	۳/۳۴±۰/۰۸	۵/۵۶±۰/۱۳
-	۵	۱/۴۸±۰/۰۹	۲/۴۶±۰/۱۶	۲/۵۵±۰/۱۵	۴/۲۵±۰/۲۶	۳/۰۷±۰/۰۹	۵/۱۲±۰/۱۶

این مدل، مشخص کردن پیروی رفتار جذب آب طولانی‌مدت در فرآورده مرکب با نظریه فیک ضروریست. شکل ۲، همخوانی داده‌های تجربی با نظریه انتشار رطوبت (قانون فیک) را نشان می‌دهد. بر اساس این شکل، مقدار π برای چندسازه بدون پوسیدگی، پوسیده شده برای ۸، ۱۲ و ۱۶ هفته به ترتیب برابر با ۰/۳۹، ۰/۲۷، ۰/۲۶ و ۰/۱۹ است، که نشان‌دهنده تابع بودن رفتار جذب آب طولانی‌مدت نانوچندسازه چوب پلاستیک با نظریه فیک است.

جذب آب طولانی‌مدت چندسازه چوب پلاستیک حاوی ۵ درصد نانو سیلیس در سطوح مختلف پوسیدگی در شکل ۱ نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود با افزایش مدت زمان پوسیدگی، از یک طرف مقدار بیشینه جذب آب در نانو چندسازه چوب پلاستیک کاهش می‌یابد و از سوی دیگر زمان رسیدن به بیشینه جذب آب کاهش می‌یابد. ضریب انتشار رطوبت مهمترین مشخصه برای بررسی رفتار جذب آب در مواد مرکب است. قبل از محاسبه



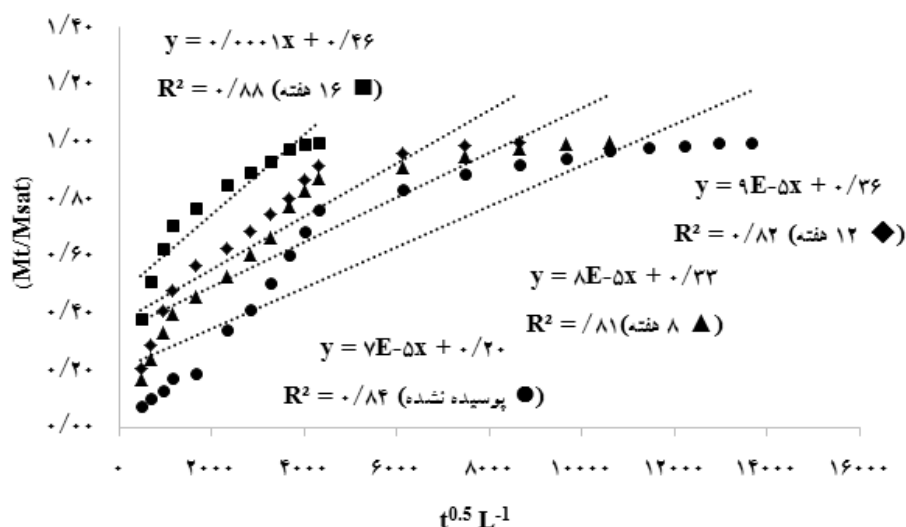
شکل ۱- جذب آب طولانی مدت چندسازه چوب پلاستیک حاوی ۵ درصد نانو سیلیس



شکل ۲- همخوانی داده‌های تجربی با نظریه انتشار رطوبت

عدد ۱۶ تقسیم می‌شود تا ضریب انتشار رطوبت محاسبه شود. شکل ۳ نیز نحوه محاسبه ضریب انتشار رطوبت برای سطوح مختلف پوسیدگی را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، با افزایش مدت زمان مجاورت نمونه‌ها با قارچ، شیب منحنی نمودار تندتر شده و این موضوع نشان‌دهنده گرایش نانوچندسازه پوسیده شده به جذب بیشتر آب در زمان کوتاه‌تر است. ضریب انتشار رطوبت برای سطوح مختلف پوسیدگی در جدول ۶ نشان داده شده است. به‌طوری‌که با افزایش زمان مجاورت نمونه‌ها با قارچ، ضریب انتشار رطوبت افزایش می‌یابد.

پس از اطمینان از اینکه رفتار جذب آب نانوچندسازه چوب پلاستیک از قانون فیک پیروی می‌کند نوبت به محاسبه ضریب انتشار رطوبت می‌رسد. برای محاسبه ضریب انتشار رطوبت، از شیب قسمت خطی منحنی نسبت جذب آب در زمان مورد نظر به بیشینه جذب آب در برابر نسبت توان نیم زمان به ضخامت نمونه ($Mt/Msat; t^{0.5} L^{-1}$) استفاده می‌شود (Espert *et al.*, 2004; Najafi & Khademi-Eslam, 2011; Kazemi *et al.*, 2007). پس از رسم نمودار، ضریب X در معادله رگرسیون هریک از خطوط به توان ۲ رسیده، در عدد $3/14$ ضرب شده و بر



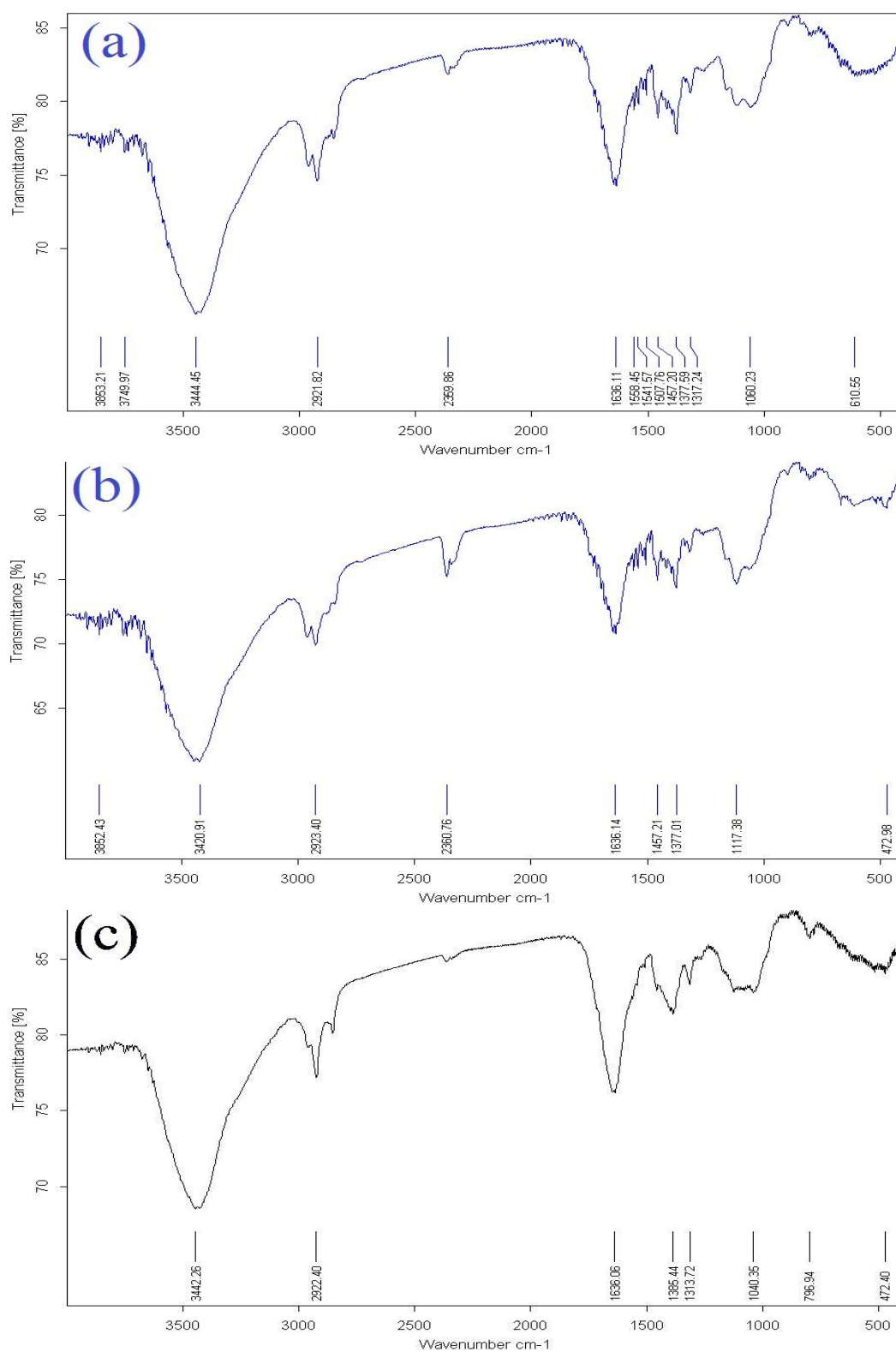
شکل ۳- نحوه محاسبه ضریب انتشار رطوبت برای سطوح مختلف پوسیدگی

جدول ۶- ضریب انتشار رطوبت و مشخصه‌های آن برای سطوح مختلف پوسیدگی

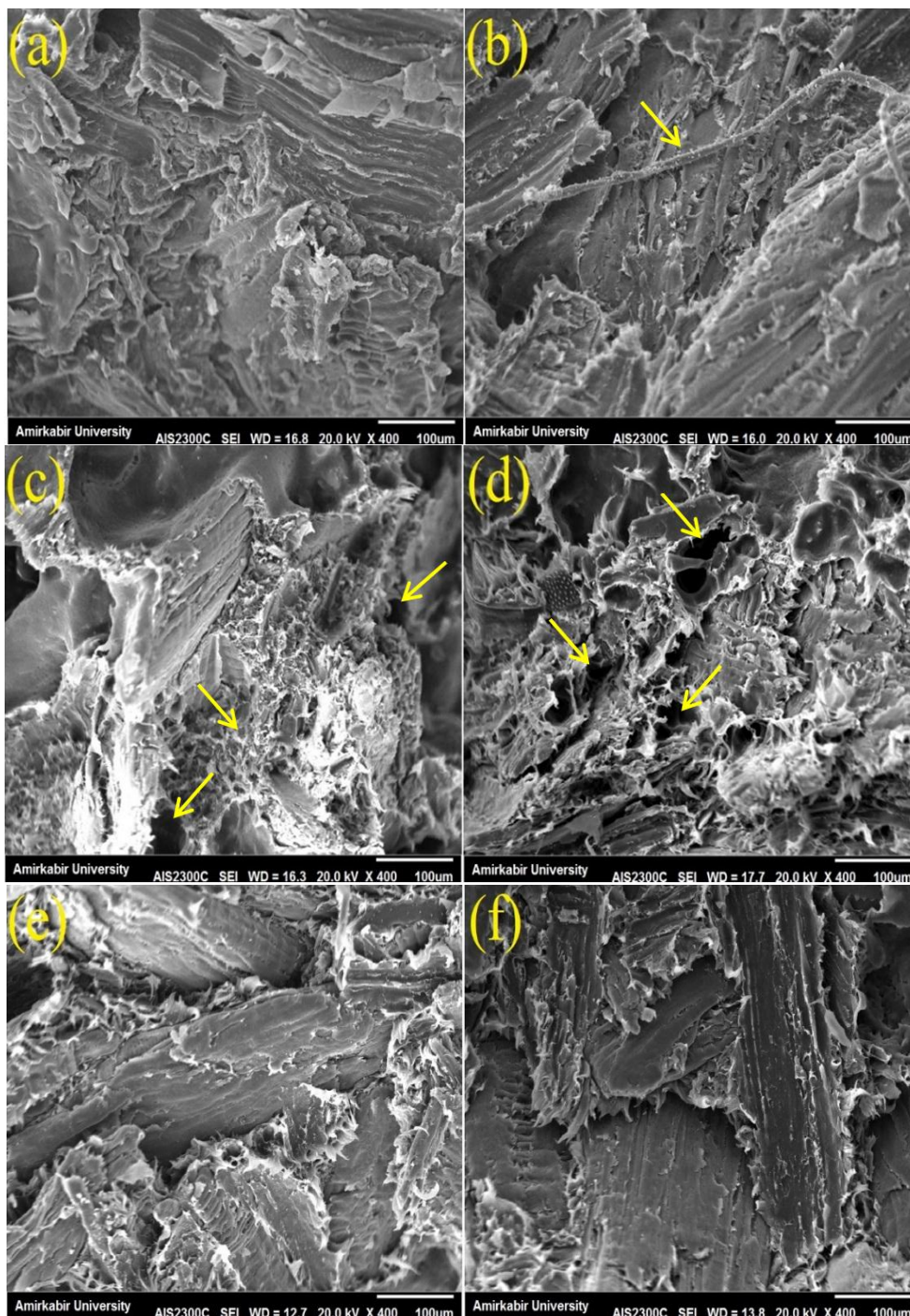
زمان پوسیدگی	مقدار n	زمان رسیدن به بیشینه جذب آب (ساعت)	بیشینه جذب آب (%)	ضریب انتشار رطوبت (m ² /s)
پوسیده نشده	0/39	۱۶۸۰	۹/۵۲	۹/۶۱×۱۰ ^{-۱۰}
۸ هفته	0/۲۷	۱۰۰۸	۱۱/۳۷	۱/۲۵×۱۰ ^{-۹}
۱۲ هفته	0/۲۶	۶۷۲	۱۴/۶	۱/۵۸×۱۰ ^{-۹}
۱۶ هفته	0/۱۹	۱۶۸	۱۹/۵	۱/۹۶×۱۰ ^{-۹}

سیلیس می‌باشد (Rabiee *et al.*, 2013; Farhadyar *et al.*, 2005). در اثر افزودن ۵ درصد میکرو سیلیس، پیک موجود در باند $3444/45 \text{ cm}^{-1}$ به مقدار قابل ملاحظه‌ای کاهش یافت و به باند $3420/91 \text{ cm}^{-1}$ رسید. البته انتظار می‌رود تشکیل پیوندهای هیدروژنی بین گروه‌های هیدروکسیل آرد چوب با ذرات سیلیس باعث کاهش میزان گروه‌های هیدروکسیل در چندسازه حاوی ۵ درصد میکرو سیلیس شود. شکل ۴c طیف‌سنجی مربوط به چندسازه حاوی ۵ درصد نانو سیلیس را نشان می‌دهد. در این شکل، پیک جدیدی در ناحیه $1636/11 \text{ cm}^{-1}$ به وجود آمده است که به نظر می‌رسد این پیک مربوط به ارتعاش کششی برهم‌کنش پیوندهای Si-O-Si گروه‌های سیلوکسان می‌باشد (Parvinzadeh Gashti *et al.*, 2012). البته پیک موجود در باند $3444/45 \text{ cm}^{-1}$ نیز به دلیل تشکیل پیوندهای هیدروژنی بین نانو سیلیس و آرد چوب کاهش یافت و به باند $3442/26 \text{ cm}^{-1}$ رسید.

نتایج طیف‌سنجی نانو چندسازه‌های حاوی سطوح مختلف سیلیس در شکل ۴ نشان داده شده است. در طیف‌سنجی مربوط به چندسازه فاقد سیلیس (شکل ۴a)، پیک موجود در باند $3444/45 \text{ cm}^{-1}$ مربوط به ارتعاش کششی اتصال گروه‌های هیدروکسیل است (Kord & Taghizadeh Haratbar, 2014). پیک موجود در دامنه $2921/82 \text{ cm}^{-1}$ مربوط به مد نامتقارن CH_2 کششی و ارتعاشات کششی CH می‌باشد. پیک موجود در باند جذبی $2359/86 \text{ cm}^{-1}$ مربوط به گروه‌های آروماتیک C=C و پیک موجود در دامنه $1636/11 \text{ cm}^{-1}$ مربوط به گروه‌های هیدروکسیل (OH) خمشی موجود بر روی آرد چوب می‌باشد. شکل ۴b طیف‌سنجی مربوط به چندسازه حاوی ۵ درصد میکرو سیلیس را نشان می‌دهد. در این طیف پیک جدیدی در باند جذبی $1117/38 \text{ cm}^{-1}$ تشکیل شده است که به نظر می‌رسد این پیک مربوط به ارتعاش خمشی قوی برهم‌کنش پیوندهای Si-O-Si گروه‌های سیلوکسان عنصر



شکل ۴- طیف‌سنجی تبدیل فوریه مادون قرمز (FTIR)، چندسازه فاقد سیلیس (a)، چندسازه حاوی ۵ درصد میکرو سیلیس (b) و چندسازه حاوی ۵ درصد نانو سیلیس (c)



شکل ۵- میکروسکوپ الکترونی پوششی (SEM)، نمونه پوسیده نشده و فاقد سیلیس (a)، پوسیده شده به مدت ۸ هفته و فاقد سیلیس (b)، پوسیده شده به مدت ۱۲ هفته و فاقد سیلیس (c)، پوسیده شده به مدت ۱۶ هفته و فاقد سیلیس (d)، نمونه حاوی ۵ درصد میکرو سیلیس و ۱۶ هفته (e)، نمونه حاوی ۵ درصد نانو سیلیس و ۱۶ هفته (f)

افزایش مدت زمان مجاورت چندسازه‌ها در محیط قارچ رنگین‌کمان، شدت پوسیدگی افزایش می‌یابد. به طوری که در اوایل دوره پوسیدگی، ریشه‌های قارچ در داخل ماتریس

نتایج مربوط به میکروسکوپ الکترونی پوششی چندسازه‌های چوب پلاستیک در شکل ۵ نشان داده شده است. همان‌طور که در این تصاویر می‌توان مشاهده کرد، با

توسط چندسازه می‌کاهد. به عبارت دیگر نوعی رقابت بین گروه‌های هیدروکسیل آرد چوب و گروه‌های هیدروکسیل ذرات سیلیس برای تشکیل پیوند هیدروژنی برقرار است. البته آرد چوب و ذرات سیلیس از شانس مولکول‌های آب در این رقابت می‌کاهد (Roohani *et al.*, 2008; Roohani *et al.*, 2014; Kord *et al.*, 2014). ذرات سیلیس به دلیل منشأ معدنی خود از یکسو به عنوان یک عامل نامناسب در جیره غذایی قارچ به شمار می‌رود و از سوی دیگر موجب افزایش دانسیته و سختی و به تبع آن کاهش تخلخل موجود در چندسازه می‌شود. البته با کاهش تخلخل در چندسازه، دسترسی میسیلیوم‌های قارچ به الیاف لیگنوسولوزی با مشکل مواجه می‌شود (Farahani & Banikarim, 2013; Kord *et al.*, 2014). موضوع قابل توجه آن است که ذرات سیلیس به ویژه نانو ذرات سیلیس به عنوان یک عامل هسته-گذار در رشد بلورهای پلی‌پروپیلن عمل خواهد کرد (Chae & Kim, 2007; Zhang *et al.*, 2008; Liu *et al.*, 2012; Tian *et al.*, 2006). بنابراین با شدیدتر شدن رشد بلورها در چندسازه چوب پلاستیک، تغذیه از آرد چوب توسط قارچ رنگین‌کمان مشکل خواهد شد. لازم به توضیح است که نانو ذرات سیلیس به دلیل دارا بودن سطح ویژه بیشتر ($600-1800 \text{ m}^2/\text{g}$) و اندازه بسیار کوچک در مقایسه با میکرو سیلیس از یک طرف پراکنش یکنواخت‌تری در داخل ماتریس پلیمری ایجاد می‌کند و از طرف دیگر میزان واکنش نانو ذرات با گروه‌های هیدروکسیل ماده لیگنوسولوزی بیشتر از واکنش میکرو ذرات است. به طور کلی می‌توان گفت که کاهش اندازه ذرات، توان و بازدهی ذرات را افزایش می‌دهد (Kahru & Dubourguier, 2010; Ammala *et al.*, 2002). بنابراین می‌توان انتظار داشت که نمونه‌های نانو سیلیس از کاهش جرم کمتری نسبت به نمونه‌های حاوی میکرو سیلیس برخوردار باشند.

با افزایش مدت زمان مجاورت نمونه‌ها با قارچ رنگین‌کمان، جذب آب طولانی‌مدت و ضریب انتشار رطوبت افزایش یافت. در اثر فعالیت قارچ رنگین‌کمان، فضاهای خالی در داخل شبکه پلیمری به وجود می‌آید که این فضاها

پلیمری مشاهده می‌شود، اما با نزدیک‌تر شدن به اواخر دوره پوسیدگی شدت تخریب نمونه‌ها بیشتر شد و ترک‌های کوچک و بزرگی در داخل شبکه پلیمری ایجاد شد. اما با افزودن نانو و میکرو سیلیس از شدت ترک و شکاف‌ها کاسته شد، در این راستا تخریب نمونه‌های حاوی ۵ درصد میکرو سیلیس بیشتر از نمونه‌های حاوی ۵ درصد نانو سیلیس بود. دلیل این امر، سطح ویژه بالاتر ذرات نانو سیلیس و پراکنش یکنواخت‌تر آن در داخل ماتریس پلیمری در مقایسه با میکرو سیلیس است.

بحث

در این تحقیق، تأثیر ذرات سیلیس بر دوام طبیعی و ریخت‌شناسی چندسازه چوب پلاستیک در برابر قارچ رنگین‌کمان مورد بررسی قرار گرفت، و نتایج نشان داد با افزایش میزان سیلیس، کاهش جرم در چندسازه چوب پلاستیک و همچنین کاهش جرم آرد چوب کاهش یافت و این کاهش در نمونه‌های حاوی نانو سیلیس شدیدتر از نمونه‌های حاوی میکرو سیلیس بود. شرایط ضروری برای رشد و فعالیت قارچ در چندسازه‌های چوبی اکسیژن کافی، حرارت خوب و رطوبت مناسب است. پوسیدگی در چندسازه‌های چوب پلاستیک تابعی از مقدار رطوبت موجود در آن است. بنابراین اولین شرط برای جلوگیری از پوسیدگی، غیرفعال کردن رطوبت در چندسازه است (Ibach *et al.*, 2007; Zabihzadeh *et al.*, 2009; Enoki *et al.*, 2011; Hosseini Hashemi *et al.*, 1988). در این راستا، ذرات سیلیس با آب دوستی طبیعی، دارای سه گروه شیمیایی هیدروکسی، هیدروژن متصل به گروه‌های هیدروکسی و گروه‌های سیلوکسان است، بنابراین ذرات مزبور آب‌دوست‌اند، اگرچه که گروه‌های سیلوکسان خود به تنهایی آب‌گریزند (Xanthos, 2005; Quercia *et al.*, 2012; Yao *et al.*, 2009; Lamy *et al.*, 2011). اما ذرات سیلیس با توانایی برقراری پیوند هیدروژنی با گروه‌های هیدروکسیل ماده لیگنوسولوزی، باعث کاهش گروه‌های هیدروکسیل در دسترس مولکول‌های آب می‌شود و از مقدار جذب رطوبت

- American Society for Testing and Materials. ASTM. 2012. Standard practice for injection molding test specimens of thermoplastic molding and materials. ASTM D3641-12. Annual book of ASTM standards.
- American Society for Testing and Materials. ASTM. 2013. Standard practice for conditioning plastics for testing. ASTM D618-13. For testing. ASTM D618-99. Annual book of ASTM standards. Philadelphia.
- Ammala, A., Hill, A., Meakin, P., Pas, S. and Turney, T., 2002. Degradation studies of polyolefins incorporating transparent nanoparticulate zinc oxide UV stabilizers. *Journal of Nanoparticle Research*, 4: 167-174.
- BehzadiShahrehabk, A., Madhoushi, M. and MastroFarahani, 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.
- British Standard 838. 1961. Method of test for toxicity of wood preservatives to fungi. Philadelphia, PA., USA.
- Chae, D.W. and Kim, B.C., 2007. Effects of introducing silica particles on the rheological properties and crystallization behavior of poly (ethylene terephthalate). *J. Mater. Sci*, 42(4): 1238-1244.
- Chow, C.P.L., Xing, X.S. and Li, R.K.Y., 2007. Moisture absorption studies of sisal fiber reinforced polypropylene composites. *Journal of Composites Part B*, 67: 306-313.
- Enoki, A., Tanaka, H. and Fuse, G., 1988. Physical and chemical characteristics of glycopeptide from wood decay fungi. *Holzforchung*, 42: 85-93.
- Espert, A., Vilaplana, F. and Karlsson S., 2004. Comparison of Water Absorption in Natural Cellulosic Fibers from Wood and one-year Crops in Polypropylene Composites and its Influence on their Mechanical Properties. *Journal of Composites Part A*, 35: 1267-1276.
- Farahani, M.R. and Banikarim, F., 2013. Effect of Nano-Zinc Oxide on Decay Resistance of Wood-Plastic Composite. *Journal of Bioresources*, 8(4): 5715-5720.
- Farahani, M.R. and Saffarzadeh, F., 2011. Decay resistance of a commercial pistachio twig-plastic composite. *International Research Group on Wood Protection*, IRG/WP 11-10745.
- Farhadyar, N., Rahimi, A. and Ershad-Langroudi, A., 2005. Synthesis and Characterization of Organic-Inorganic Hybrid Nano- Composite based on Tetramethoxysilane and Epoxy Resin by Sol-Gel Method. *Iran. J. Polym. Sci. Technol*, 18: 19-27.

زمینه را برای ورود آب به داخل چندسازه مهیا می‌سازد. از سوی دیگر، قارچ رنگین‌کمان از نوع مولد یوسیدگی سفید می‌باشد، یعنی قسمت عمده ترکیباتی که در معرض حمله قرار می‌گیرند ترکیبات لیگنینی هستند (Ghorbani Kokandeh *et al.*, 2012). با تخریب قسمت عمده ترکیبات لیگنینی موجود در آرد چوب توسط قارچ رنگین‌کمان، آنچه باقی می‌ماند هولوسولوز (همی‌سلولوز+سلولوز) است. از آنجایی که همی‌سلولوزها و ناحیه آمورف سلولوز آب-دوست‌ترین ترکیبات موجود در چوب هستند (Mohebbi, 2003)، بنابراین انتظار می‌رود تا با حذف لیگنین و به تبع آن افزایش درصد ترکیبات سلولزی در اثر حمله قارچی، درصد جذب آب در نانوچندسازه چوب پلاستیک افزایش یابد. اما یکی از مدل‌های بسیار جالب جذب آب طولانی‌مدت، ضریب انتشار رطوبت است که رفتار جذب آب طولانی‌مدت فرآورده‌های مرکب توسط این مدل مشخص می‌شود (Najafi, 2010). در این راستا، قارچ رنگین‌کمان با حذف لیگنین و به تبع آن افزایش درصد ترکیبات سلولزی و همچنین افزایش ترک‌ها در شبکه پلیمری باعث می‌شود تا ضریب انتشار رطوبت در نانوچندسازه چوب پلاستیک افزایش یابد.

نتایج طیف‌سنجی مادون قرمز حکایت از تشکیل پیوند هیدروژنی بین گروه‌های هیدروکسیل آرد چوب با ذرات سیلیس داشت، به طوری که در اثر افزودن سیلیس، از یک طرف پیک مربوط به گروه‌های هیدروکسیل کاهش یافت و از طرف دیگر پیک جدیدی مربوط به پیوندهای Si-O-Si گروه‌های سیلوکسان تشکیل شد. نتایج میکروسکوپ الکترونی پویشی نیز نشان داد که با افزایش ماندگاری نمونه‌ها در محیط قارچ ترک‌هایی در چندسازه ایجاد می‌شود اما با افزایش سیلیس از میزان این ترک‌ها کاسته شد.

منابع مورد استفاده

- American Society for Testing and Materials. ASTM. 2011. Standard guide for evaluating mechanical and physical properties of wood-plastic composite products. Annual book of ASTM standards. Philadelphia. ASTM D7031-04.

- Lomeli-Ramirez, M.G., Ochoa-Ruiz, H.G., Fuentes-Talavera, F.G., Garcia-Enriquez, S., Cerpa-Gallegos, M.A. and Silva-Guzman, J.A., 2009. Evaluation of accelerated decay of wood plastic composites by Xylophages fungi. *International Bio deterioration & Biodegradation* 63(8): 1030-1035.
- Mankowski, M. and Morrell, J.J., 2000. Patterns of fungal attack in wood-plastic composite following exposure in a soil block test. *Wood and Fiber Science*, 32(3): 340-345.
- Mohebbi, B., 2003. Biological attack of acetylated wood. Ph.D. Thesis, Gottingen University, Gottingen, p. 147.
- Morrell, J.J., Stark, N.M., Pandleton, D.E. and McDonald, A.G., 2006. Durability of wood-plastic composite. *Wood Design Focus*, 16(3): 7-10.
- Najafi, A. and Khademi-Eslam, H., 2011. Lignocellulosic filler/recycled HDPE composites: effect of filler type on physical and flexural properties. *Bioresources.com*, 6(3): 2411-2424.
- Najafi, A., 2010. Effect of Immersion Temperature on Long-term Water Uptake Behavior of HDPE/Wood sawdust Composite. *Iranian Journal of Wood and Paper Industries*, 1(1): 37-44.
- Pandleton, D.E., Hoffard, T., Adcock, T., Woodward, B. and Wolcott, M.P., 2002. Durability of an Extruded HDPE/Wood Composite. *Forest Products Journal*, 52: 6-15.
- Parvinzadeh Gashti, M., Moradian, S., Rashidi, A. and Yazdanshenas, M.E., 2012. Effect of Nanosilica Type on Properties of Polyethylene Terephthalane/Silica Nanocomposite. *Iranian Journal of Polymer Science and Technology*, 25(3): 203-219.
- Pendelton, D. and Hoffard, T., 2002. Durability of an extruded HDPE/wood composite. *Forest product Journal*, 52(6): 21-27.
- Quercia, G., Spiesz, P., Husken, G. and Brouwers, J., 2012. Effects of Amorphous Nano silica addition on mechanical and durability performance of scc mixture. *International congress on durability of concrete*, 8-12.
- Rabiee, A., Ershad Langroudi, A., Jamshidi, H. and Gilani, M., 2013. Preparation and Characterization of Hybrid Nanocomposite of Polyacrylamide/Silica-Nanoparticles. *Iranian Journal of Polymer Science and Technology*, 25(5): 405-414.
- Rasouli, D., Faezipour, M. and Masteri Farahani, M.R., 2015. Effects of nano zinc oxide and micro zinc borate on the durability of wood flour/HDPE composite. *J. of Wood & Forest Science and Technology*, 21(4): 131-145.
- Roohani, M., Habibi, Y., Belgacem, N.M., Ebrahim, G., Karimi, A.N. and Dufresne, A., 2008. Cellulose whiskers reinforced polyvinyl alcohol copolymers
- Ghorbani Kokandeh, M., Doosthoseini, K., Karimi, A.N. and Mohebbi, B., 2012. Biological resistance of acetylated particleboards exposed to white (*Trametes versicolor*) and brown (*Coniophora puteana*) rot fungi. *Journal of Forest and Wood Products (JFWP). Iranian Journal of Natural Resources*, 65(1): 47-56.
- Hosseini Hashemi, K., Modirzare, M., Safdari, V. and Kord, B., 2011. Decay resistance, hardness, water absorption, and thickness swelling of a bagasse fiber/plastic composite. *Bioresources*, 6(3): 3289-3299.
- Ibach R.E., Clemons, C.M. and Schumann, R.L., 2007. Wood-plastic composites with reduced moisture: Effects of chemical modification on durability in the laboratory and field. 9th International Conference on Wood and Biofibre Plastic Composites, Madison, Wisconsin, USA.
- Ismaeilimoghadam, S., Shamsian, M., Bayat Kashkoli, A. and Kord, B., 2015. Evaluation of effect of Nano SiO₂ on the physical, mechanical and morphological properties of hybrid Nano composite from polypropylene-wood flour. *Iranian Journal of Wood and Paper Science Research*, 30(2): 266-277.
- Kahru, A. and Dubourgier, H.C., 2010. From ecotoxicology to nanoecotoxicology. *Toxicology*, 269: 105-119.
- Kazemi, S., Kiaeifar, A., Tajvidi, M. and Hamidinia, E., 2007. Water Absorption Behavior and Thickness Swelling Rate of Composites from Sawdust and Recycled Plastics. *Journal of Reinforced Plastic and Composites*, 26(3): 341-348.
- Kord, B. and Taghizadeh Haratbar, D., 2014. Influence of fiber surface treatment on the physical and mechanical properties of wood flour-reinforced polypropylene bionanocomposites. *Journal of Thermoplastic Composite Materials*, DOI: 10.1177/0892705714551592.
- Kord, B., Jari, E., Najafi, A. and Tazakorrezaie, V., 2014. Effect of Nano clay on the Decay Resistance and Physico-Mechanical Properties of Natural Fiber Reinforced Plastic Composites against White-rot Fungi (*Trametes Versicolor*). *Journal of Thermoplastic Composite Materials*, DOI: 0892705712465302.
- Lamy, R., Zunic, E., Steding, R. and Aamodt, A., 2011. Preparation of Stable Slurries of Spherically Shaped Silica for Coatings. *Prog. Org. Coat*, 72: 96-101.
- Liu, X.Q., Wang, Y., Yang, W., Liu, Z.Y., Luo, Y., Xie, B.H. and Yang, M.B., 2012. Control of morphology and properties by the selective distribution of Nano-silica particles with different surface characteristics in PA6/ABS blends. *Journal of Materials Science*, 47(11): 4620-4631.

- Xanthos, M. 2005. Functional fillers for plastics. Wiley, Weinheim.
- Yao, X., Tian, X., Zhang, X., Zheng, K., Zheng, J., Wang, R., Kang, S. and Cui, P., 2009. Preparation and Characterization of Poly (butylenes terephthalate)/Silica Nanocomposites. Polym. Eng. Sci, 49: 799–807.
- Zabihzadeh, S.M., Hosseini Hashemi, S.K., Mehregan Nikoo, H. and Sepidehdam, S.M.J., 2009. Influence of fungal decay on physico-mechanical properties of a commercial extruded bagasse/PP composite. Journal of Reinforced Plastic and Composite, DOI: 0974275184205302.
- Zhang, X., Tian, X., Zheng, J., Yao, X., Liu, W., Cui, P. and Li, Y., 2008. Relationship between microstructure and tensile properties of PET/Silica Nano composite fibers. Journal of Macromolecular Science, 47(2): 368–377.
- nanocomposites. European Polymer Journal, 44(8): 2489–2498.
- Roohani, M., Kord, B., Motie, N. and Sharari, M., 2014. Biodegradation behaviors of cellulose nanocrystals --PVA nanocomposites, Iranian Journal of Wood and Paper Industries, 5(2): 1-13.
- Sain, M., Sahara, P., Law, S. and Bloulooux, A., 2005. Interface modification and mechanical properties of natural fiber-polyolefin composite products. Journal of Reinforced Plastics and Composites, 24(2): 121-130.
- Tian, X., Zhang, X., Liu, W., Zheng, J., Ruan, C. and Cui, P., 2006. Preparation and properties of poly (ethylene terephthalate)–silica Nano composites. Journal of Macromolecular Science, 45(4): 507-513.
- Varhey, S.A. and Lakes, P.E., 2002. Fungal resistance of wood fiber/thermoplastic composites, enhancing the durability of lumber and engineered wood product. Orlando, Florida, USA.

The effect of silica on natural resistance and morphology of wood plastic composite against of white rot fungi (*Trametes Versicolor*)

S. Ismaeilimoghadam^{1*}, A. Shahraki², F. Dehdast² and S. Pour Karami³

1*-Corresponding author, Young Researchers and Elite Club, Chalous Branch, Islamic Azad University, Chalous, Iran, email: Saeed.am17358@gmail.com

2- Graduated of M.Sc., degree of wood composite products, Zabol University, Iran

3- Graduated of M.Sc., degree of wood protection and modification, University of Agricultural Sciences and Natural Resources of Gorgan, Iran

Received: Aug., 2015

Accepted: Jan., 2016

Abstract

The objective of this study was the evaluation of the addition of silica particles in composite on natural resistance and morphology of wood plastic composite against of white rot fungi (*Trametes Versicolor*). Wood flour at the ratio of 60% (w/w), polypropylene and 2 per hundred compound (phc) MAPP was mixed. Nano and micro silica at 0, 1, 3 and 5 (phc) were added as filler. The mixing process in internal mixer (HAAKE) was done and test specimens were prepared using injection molding. The test specimens were exposed to *Trametes Versicolor* fungi for 8, 12 and 16 weeks at 25 °C and 75% humidity according to BS 838:1961. Then the mass loss, long-term water absorption and humidity coefficient diffusion of the samples were measured. The formation of hydrogen bonds between silica and wood flour was determined by Fourier Transform Infrared (FTIR) spectroscopy and the morphology of composite was studied using scanning electron microscopy (SEM). The result showed that with increasing period of samples exposure to fungi, the mass loss, long-term water absorption and humidity coefficient diffusion in wood plastic composite increased. However at higher silica, decay in the samples was decreased. The effect of silica nanoparticles on natural resistance of wood plastic composite was higher than sample containing silica micro particles. Infrared spectroscopy showed hydrogen bonds between wood flour and silica. The result of scanning electron microscopy showed that with increasing of exposure time to fungi, small and large cracks in composite were created. However increasing silica addition, these cracks were decreased.

Key words: Natural resistance, humidity coefficient diffusion, *Trametes Versicolor*, nano and micro silica, mass loss.