بررسی استفاده از تترا متیل اورتوسیلیکات (آلکوکسی سیلان) روی سازگاری، خواص مکانیکی و فیزیکی تخته خرده چوب-سیمان

هانیه قاسمی[۱*]
محمد شمسیان[۲]
سعیدرضا فرخ پیام[۳]
منصور غفاری مقدم[۴]

[۱] دانشجوی دکتری، گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه زابل، زابل، ایران

[۲] دانشیار، گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه زابل، زابل، ایران

[۳] دانشیار، گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه زابل، زابل، ایران

[۴] دانشیار، گروه شیمی، دانشکده علوم پایه دانشگاه زابل، زابل، ایران

مسئول مکاتبات:
hanieh.ghasemi65@gmail.com

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۴/۳۰
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۹/۰۲

چکیده

در این تحقیق اثر تیمار شیمیایی خرده‌های نخل با آلکوکسی سیلان بر خواص مکانیکی و فیزیکی تخته خرده چوب سیمان بررسی شد. بدین منظور، خرده‌های نخل با آلکوکسی سیلان ۷/۵ و ۱۵ درصد برای ساخت تخته خرده چوب سیمان با نسبت وزنی ۳۰ به ۷۰ و در حضور کلرید کلسیم ۵ درصد (بر اساس وزن خشک سیمان) تیمار شیمیایی شدند. نمونه‌های آزمون مکانیکی (مدول خمشی و مدول-الاستیسیته و چسبندگی داخلی) و فیزیکی (جذب آب و واکشیدگی ضخامت) در سه سطح شاهد، آلکوکسی سیلان ۷/۵ و ۱۵ درصد بر اساس استاندارد اروپایی تهیه گردیدند. نتایج نشان داد، تیمار شیمیایی خرده‌های نخل با آلکوکسی سیلان تأثیر مثبتی روی خواص مکانیکی و فیزیکی تخته‌های چوب سیمان داشته است بطوریکه با افزایش آلکوکسی سیلان تا ۱۵ درصد بیشترین مقاومت مکانیکی و کمترین خواص فیزیکی به دست آمدند. افزایش معنی‌دار خواص مقاومتی و فیزیکی تخته-های حاصل از افزودن ۱۵ درصد آلکوکسی سیلان را می‌توان به واکنش بین گروه-های هیدروکسیل اجزای تشکیل‌دهنده نخل با گروه‌های فعال آلکوکسی سیلان و پیوستگی بیشتر بین خرده‌های نخل و سیمان نسبت داد. به‌منظور توصیف تأثیرگذاری تیمار شیمیایی، از آنالیزهای تشخیصی نظیر طیف‌سنجی زیر قرمز و میکروسکوپ الکترونی استفاده شد. نتایج طیف‌سنجی زیر قرمز نشان‌دهنده افزایش شدت پیک نواحی مربوط به پیوندهای Si-O در نمونه‌های اصلاح‌شده با آلکوکسی سیلان و نتیجتاً اصلاح شیمیایی خرده‌های نخل بوده است. همچنین ساختار یکنواخت و منسجم تصویر میکروسکوپ الکترونی تخته خرده چوب سیمان اصلاح‌شده با عامل سیلانی بر واکنش شیمیایی بین ذرات نخل، آلکوکسی سیلان و سیمان و درنتیجه سازگاری و درهم‌رفتگی بیشتر بین نخل اصلاح‌شده و سیمان تأثیرگذار بوده است.

واژگان کلیدی: دم برگ نخل، آلکوکسی سیلان، تخته خرده چوب-سیمان، سازگاری، خواص مکانیکی و فیزیکی.

مقدمه

فرآورده چوب سیمان سال‌های زیادی است که در کشورهای مختلف جهان ازنظر ویژگی‌های مکانیکی و فیزیکی موردمطالعه و استفاده قرار می‌گیرد [۱]. این فرآورده‌ها عمدتاً حاصل ترکیب سیمان و خرده چوب یا تعدادی از ضایعات حاصل از تولید فرآورده‌های جنگلی و

نیز پسماندهای ناشی از فعالیت‌های صنعت چوب نظیر خاک‌اره، تراشه‌های چوب، پوشال‌های حاصل از رنده کردن چوب، و یا فعالیت‌های کشاورزی نظیر باگاس، ساقه ذرت، کاه گندم و کلش برنج می‌باشند [۲]. همچنین این فرآورده‌ها دارای خواص کاربردی مطلوبی نسبت به سایر مواد چوبی معمولی دارند مانند، مقاومت به عوامل جوی، عملکرد بهتر عایق و آتش، عوامل بیولوژیکی و سختی بالاتر و از پایداری ابعاد بالایی برخوردارند و به‌صورت پانل - های مسطح و یا بلوک‌های سیمانی، آجر و قطعات فرم‌دار ساخته می‌شوند [۳ و ۴]. با توجه به کمبود منابع چوبی و جنگلی در کشور، مواد لیگنوسلولزی مانند ضایعات نخل در مناطق جنوبی ایران از جمله سیستان و بلوچستان، کرمان، فارس، بوشهر و خوزستان به دلیل امکان تولید در حجم انبوه، هزینه پایین مواد اولیه، قابلیت تخریب زیستی و هم‌چنین عمل‌آوری در کم‌ترین زمان ممکن، یکی از بهترین جایگزین‌ها برای چوب می‌باشند [۵]. یکی از مسائل مهم در تولید صفحات چوب سیمان، عدم سازگاری گونه‌های چوبی باسیمان به‌عنوان ماده چسبنده غیرآلی و درنهایت محدودیت در اتصال چوب باسیمان می‌باشد [۶]. بسیاری از چوب‌ها به دلیل داشتن مواد آلی مشکلاتی را در گیرایی سیمان با چوب ایجاد می‌کنند. ایجاد محیط قلیایی به‌واسطه سیمان باعث اختلال در الگوی هیدراتاسیون سیمان می‌شود. مقادیر بالای مواد قندی و نشاسته‌ای در سلول‌های پارانشیمی دم برگ نخل و مقدار بالاتر همی‌سلولز نخل نسبت به چوب باعث مهار هیدراتاسیون سیمان و مانع گیرایی خرده‌های نخل باسیمان می‌گردد؛ بنابراین انجام برخی اصلاحات روی چوب قبل از ترکیب باسیمان به‌منظور ایجاد سازگاری بین آن‌ها مهم و الزامی است. ارزیابی انواع گونه‌های چوبی، مواد لیگنوسلولزی و حتی ضایعات و پتانسیل گیرایی انواع سیمان‌های موجود با این مواد و بررسی تیمارهای مختلف مانند شستشو و بخاردهی، حرارت‌دهی و تزریق CO_2 و غیره، طی فرآیندها و مراحل مختلف تولید و تأثیر پارامترهای دیگر نظیر مواد افزودنی و مقادیر آن‌ها، از جمله تحقیقات انجام شده در این صنعت می‌باشد [۷-۹]. در این تحقیق اصلاح شیمیایی خرده‌های نخل با آلکوکسی سیلان (تترا متیل اورتوسیلیکات) به‌منظور ایجاد سازگاری بین نخل و سیمان انجام شد. انتظار می‌رود گروه‌های هیدروکسیل و عنصر سیلیسیم در ساختار سیلان با گروه‌های هیدروکسیل سلولز، همی‌سلولز و لیگنین نخل پیوند و از طرف دیگر با یون‌های مثبت و منفی موجود روی عناصر سازنده سیمان واکنش شیمیایی دهد؛ برای مثال از طریق واکنش با گروه‌های کلسیم روی سیمان کلسیم سیلیکات به وجود می‌آید که می‌تواند پیوند محکمی را از طریق واکنش کلیک شیمیایی ایجاد نماید و این امر موجب بهبود سازگاری بین چوب و سیمان شود.

مواد و روش‌ها

مواد

در این مطالعه سیمان پرتلند معمولی (تیپΠ) از کارخانه سیمان زابل و دم برگ نخل حاصل از هرس درختان از شهرستان زابل تهیه گردید. دم برگ‌ها به مدت یک ماه در مجاورت هوای آزاد قرار گرفتند. سپس توسط دستگاه اره‌گرد کارگاه صنایع چوب به قطعات کوچک برش داده شدند و درنهایت توسط دستگاه آسیاب آزمایشگاهی به خره چوب‌هایی با میانگین طول ۱۵/۲۲، عرض ۰/۵۷ و ضخامت ۰/۴۲ میلی‌متر) تبدیل شدند. به‌منظور تعیین اجزای تشکیل‌دهنده دم برگ نخل از آیین‌نامه TAPPI استفاده شد (جدول ۱). در ساخت تخته‌ها، از کلرید کلسیم با جرم مولی ۱۱۰/۹۸ گرم بر مول، نقطه ذوب ۷۷۲ درجه سانتی‌گراد، چگالی ۲/۱۵ گرم بر سانتی‌متر مکعب، نقطه‌جوش ۱۹۲۵ درجه سانتی‌گراد از شرکت مرک به‌عنوان تسریع‌کننده گیرایی به مقدار ۵ درصد وزنی سیمان استفاده شد. آلکوکسی سیلان TetramethylOrthosilicate (TMOS) با فرمول مولکولی $SiO_4C_8H_{20}$، جرم مولی ۲۰۸ گرم بر مول و درصد خلوص ۹۷ درصد از شرکت کوپل شیمی سپاهان تهیه شد.

جدول ۱- اجزای تشکیل‌دهنده دم برگ نخل

اجزای تشکیل‌دهنده (درصد)	سلولز	همی‌سلولز	لیگنین	مواد استخراجی
دمبرگ‌نخل	۴۵/۳۰	۳۰/۱۹	۲۱/۱۷	۳/۳۴

روش‌ها

اصلاح شیمیایی خرده‌های نخل توسط تترا متیل اورتوسیلیکات (TMOS)

اصلاح شیمیایی خرده‌ها توسط تترامتیل اورتوسیلیکات (TMOS) طبق روش Hettegger و همکاران (۲۰۱۶) در دو سطح آلکوکسی‌سیلان ۷/۵ و ۱۵ میلی‌لیتر بر لیتر بر مبنای چوب خشک، در ۲۵ میلی‌لیتر آب مقطر به‌عنوان حلال و مقدار یک سی‌سی از محلول هیدروکسید سدیم ۰/۵ مولار و یک سی‌سی پیریدین به‌عنوان کاتالیزور جهت پیش هیدرولیز کردن و با هم زدن در دمای محیط به مدت ۵ ساعت انجام شد [۱۰]. پس از اتمام زمان واکنش برای تثبیت، خرده‌های آغشته به سیلان به مدت ۲ ساعت در آون با دمای ۱۱۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت.

ساخت تخته خرده چوب- سیمان

به‌منظور آماده‌سازی کیک جهت ساخت تخته‌ها، خرده‌های اصلاح‌شده نخل با آلکوکسی سیلان باسیمان به نسبت ۳۰ به ۷۰ به همراه آب (۴۰ درصد نسبت به وزن سیمان) و کلرید کلسیم به‌عنوان ماده افزودنی (۵ درصد وزن خشک سیمان) مخلوط و در قالب مورد نظر شکل ۱ به ابعاد ۳۵۰ × ۳۵۰ میلی‌متر ریخته شدند. سرانجام کیک جهت فشرده‌سازی نهایی و رسیدن به ضخامت ۱۵ میلی-متر به دستگاه پرس سرد با فشار ۶۰ بارو زمان ۱۰ دقیقه منتقل شد. بعد از گذشت ۲۴ ساعت تخته خرده چوب-سیمان از قالب خارج‌شده و برای به حداقل رساندن سرعت خشک شدن سیمان و همچنین همسان‌سازی رطوبت نهایی تخته‌ها، به مدت ۲۸ روز در شرایط کلیماتیزه شامل دمای ۲±۲۰ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۵±۶۵ درصد قرار گرفت تا به گیرایی نهایی برسد. دانسیته تخته خرده چوب- سیمان حاصل ۱/۲ گرم بر سانتی‌مترمکعب در نظر گرفته شد. پس از طی این مدت تخته‌های حاصل اندازه بری شدند و نمونه‌های آزمونی برای اندازه‌گیری مقاومت خمشی و مدول الاستیسیته، چسبندگی داخلی، جذب آب و واکشیدگی ضخامت طبق استانداردهای EN برش داده شدند.

شکل ۱- قالب جهت ساخت تخته خرده چوب سیمان

اندازه‌گیری مدول‌الاستیسیته و مقاومت خمشی

آزمون خمش شامل مدول گسیختگی و مدول-الاستیسیته توسط دستگاه HOUNS field H25ks مطابق استاندارد EN 310، روی نمونه‌هایی به ابعاد ۱۵×۵۰×۳۵۰ میلی‌متر و با سرعت بارگذاری ۳ میلی‌متر بر دقیقه انجام شد [۱۱] و توسط روابط زیر محاسبه گردیدند:

رابطه (۱)

MOR= مقاومت خمشی (مگا پاسکال)، Pu= حداکثر بار گسیختگی (نیوتن)، L= طول دهانه (میلی‌متر)، b= عرض نمونه (میلی‌متر)، h= ضخامت نمونه (میلی‌متر)

رابطه (۲)

MOE= مدول الاستیسیته (مگا پاسکال)، P_1= بار در حد تناسب (نیوتن)، Y= تغییر طول در حد تناسب (میلی-متر)

آزمون چسبندگی داخلی

برای انجام آزمون چسبندگی داخلی، تخته‌ها طبق استاندارد EN 326-1 به نمونه‌هایی با ابعاد ۱۵×۵۰×۵۰ میلی‌متر برش [۱۲] و بر اساس استاندارد EN 319 توسط دستگاه HOUNS field H25ks اندازه‌گیری گردیدند [۱۳]. سرعت بارگذاری ۱ میلی‌متر بر دقیقه می‌باشد.

مقاومت چسبندگی داخلی نمونه‌ها با استفاده از رابطه زیر محاسبه گردید:

رابطه (۳)

IB= چسبندگی داخلی (مگا پاسکال)، Pu= حداکثر بار در نقطه شکست (نیوتن)، A= سطح مقطع نمونه (میلی‌متر مربع)

اندازه‌گیری خواص فیزیکی تخته‌ها

جذب آب و واکشیدگی ضخامت در تخته‌ها طبق استاندارد EN 317 اندازه‌گیری شدند [۱۴]. مقدار جذب آب و واکشیدگی ضخامت با استفاده از روابط زیر محاسبه گردید:

رابطه (۴)

WA(t)= مقدار جذب آب در زمان t (درصد)، W(t)= وزن نمونه در زمان غوطه‌وری t (گرم)، W(0)= وزن خشک نمونه قبل از غوطه‌وری (گرم)

رابطه (۵)

TS(t)= واکشیدگی ضخامت در زمان غوطه‌وری t (درصد)، T(t)= ضخامت در زمان t (میلی‌متر)، T(0)= ضخامت اولیه نمونه‌ها (میلی‌متر)

طیف‌سنجی زیر قرمز تبدیل فوریه FTIR (Fourier Transform Infrared)

طیف‌سنجی FTIR یکی از مهم‌ترین و متداول‌ترین تکنیک‌ها جهت شناسایی و اندازه‌گیری گونه‌های مولکولی مختلف است. این طیف اطلاعات زیادی درباره ساختار ترکیبات آنالیز شده با استفاده از گروه‌های عاملی آن‌ها در اختیار ما قرار می‌دهد. در واقع ترکیبات شیمیایی به دلیل حضور گروه‌های عاملی مختلف، خواص متفاوتی دارند که این خواص را می‌توان به کمک این طیف مشخص کرد و همچنین، تعیین گروه‌های عاملی به کمک این روش امکان‌پذیر است. قرص‌ها با استفاده از پودر نمونه‌ها با اندازه کوچکتر از ۸۰ mesh و برمید پتاسیم آماده شدند. درنهایت قرص‌های تهیه‌شده توسط دستگاه اسپکتروسکوپی ساخت شرکت Bruker آلمان مدل TENSOR 27 دانشگاه زابل موردبررسی قرار گرفتند و نتایج در طول‌موج cm^{-1} ۴۰۰۰-۴۰۰ ثبت شد.

ریزنگار میکروسکوپ الکترونی SEM (Scanning Electron Microscope)

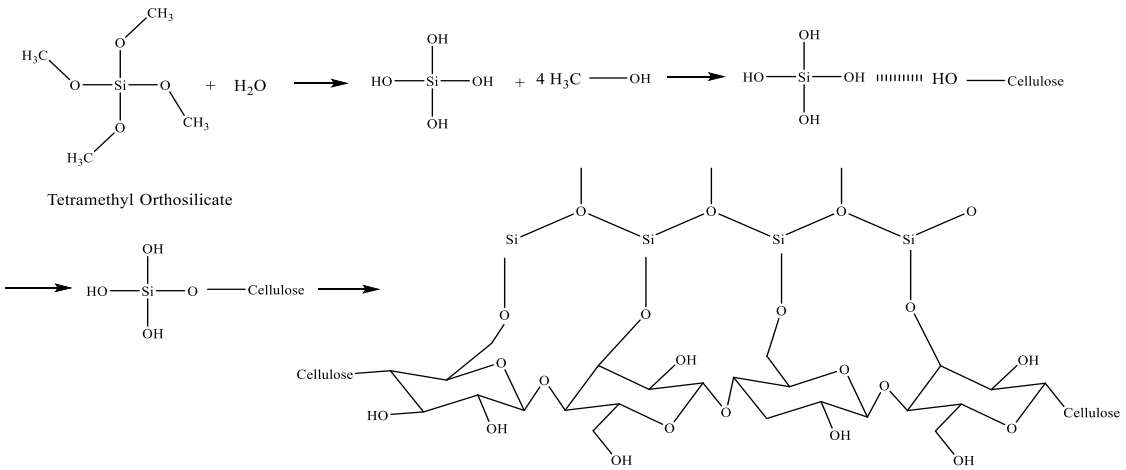
بررسی ریخت‌شناسی ساختار نمونه‌ها توسط دستگاه ریزنگار میکروسکوپ الکترونی در مرکز پژوهش متالورژی رازی انجام شد. نمونه‌ها با طلا پوشش داده شدند و با استفاده از دستگاه میکروسکوپ الکترونی مدل VEGA,TESCAN-LMU بررسی شدند.

روش آماری

تجزیه تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS در قالب طرح کاملاً تصادفی انجام شد و میانگین‌ها توسط آزمون چند دامنه‌ای دانکن گروه‌بندی شدند.

نتایج و بحث

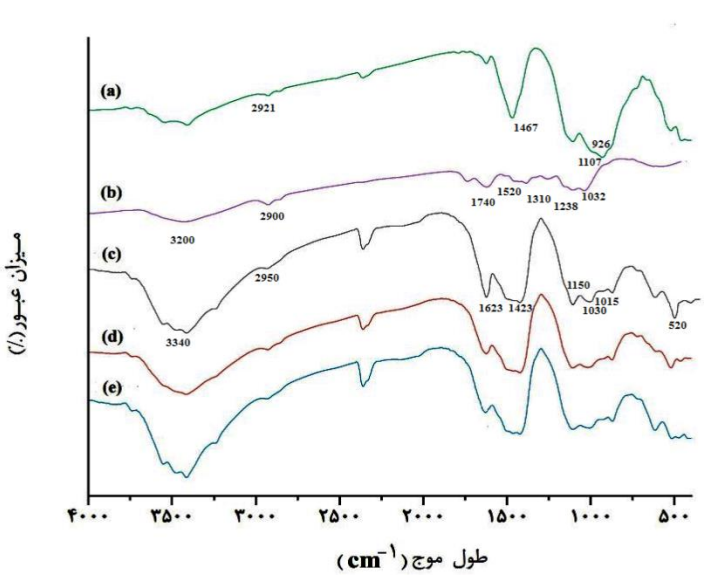
در این بررسی اصلاح شیمیایی با آلکوکسی سیلان روی خرده‌های نخل به‌منظور ایجاد سازگاری بین نخل و سیمان انجام شد. در واقع از تترا متیل اورتوسیلیکات برای اصلاح سلولز خرده‌های نخل و وارد نمودن گروه‌های فعال روی سطح سلولز استفاده شد. اصلاح شیمیایی تترا متیل اورتوسیلیکات روی سطح سلولز شامل سه مرحله است (شکل ۲). در ابتدا از هیدرولیز گروهای آلکوکسی در حضور آب گروهای سیلانول واکنش‌پذیر حاصل می‌شود. در مرحله بعد این گروه‌ها با گروه‌های هیدروکسیل سطح سلولز واکنش داده و پیوندهای هیدروژنی چندتایی تشکیل می‌شوند. در مرحله آخر از طریق خود کندانس شدن مولکول‌های جذب‌شده روی سطح سلولز، الیگومرهای سیلوکسان تشکیل و با پیوند کووالانسی روی سطح سلولز متصل می‌شوند.



شکل ۲-مکانیسم نحوه اتصال تترا متیل اورتوسیلیکات با گروه‌های هیدروکسیل سطح اجزای تشکیل‌دهنده نخل (سلولز)

طیف‌سنجی زیر قرمز تبدیل فوریه

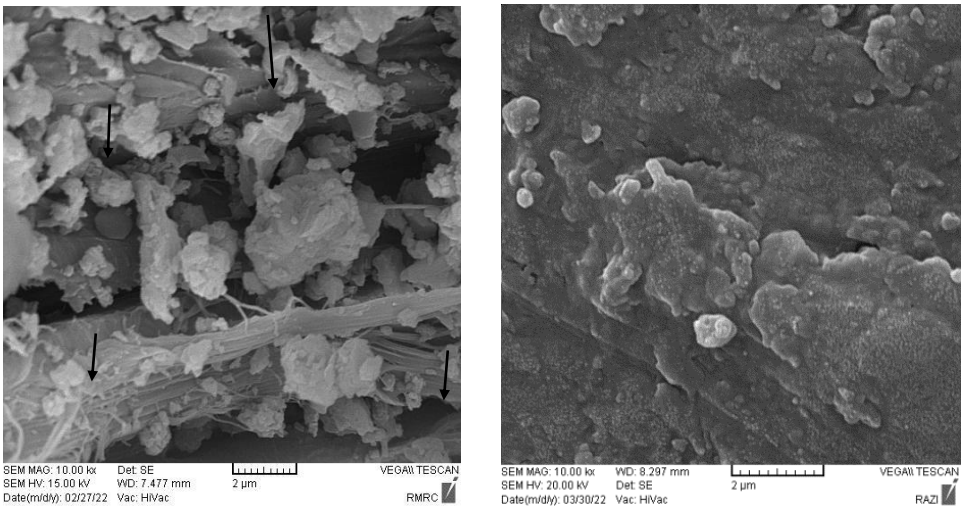
شکل ۳ طیف‌سنجی زیر قرمز تبدیل فوریه خرده‌های نخل، سیمان و تخته خرده چوب- سیمان را قبل و بعد از افزودن آلکوکسی سیلان در دو سطح ۷/۵ و ۱۵ درصد نشان می‌دهد. طیف مربوط به نمونه خرده‌های نخل نشان داد (شکل ۲b) پیک در محدوده cm^{-1} ۳۲۰۰-۳۵۰۰ مربوط به ارتعاشات گروه‌های هیدروکسیل پیوندی کربوهیدرات (سلولز و همی‌سلولز) و لیگنین خرده‌های نخل است [۱۵]. وجود زنجیره آلیفاتیک اجزای تشکیل- دهنده نخل و گروه کربونیل گروه استیل و کربوکسیلیک اسید اجزای لیگنین و همی‌سلولز به ترتیب در نواحی cm^{-1} ۲۹۰۰ و ۱۷۴۰ مشاهده شدند. همچنین پیک‌های متعلق به ارتعاشات CH و C=C– در الیاف نخل در محدوده cm^{-1} ۱۵۲۰- ۱۶۳۰، C=H کششی گروه‌های متیل لیگنین در ناحیه cm^{-1} ۱۳۱۰، پیک C-O-C کششی سلولز و لیگنین در cm^{-1} ۱۲۳۸ و C-H کششی سلولز و لیگنین در ناحیه cm^{-1} ۱۰۳۲ یافت شدند [۱۶]. در طیف حاصل از نمونه سیمان خالص (شکل ۲a) ارتعاشات ناشی از اجزای اولیه سیمان مانند $CaCO_3$ و کلسیم سیلیکات (C_2S و C_3S) در نواحی ۹۲۶، ۱۱۰۷ و cm^{-1} ۱۴۶۷ مشاهده شدند که این پیک‌ها به ترتیب به ارتعاش خارج از صفحه CO_3^{-2}، Si-O-Si و ارتعاش نامتقارن CO_3^{-2} تعلق دارند [۱۷]. پیک ضعیف در ناحیه cm^{-1} ۲۹۲۱ را می‌توان به کشش CH_2 اختصاص داد [۱۸]. بر اساس تجزیه و تحلیل طیف‌های FTIR نمونه‌های تخته خرده چوب- سیمان، اکثر پیک‌ها مشابه بودند و تغییر جزئی طول‌موج به دلیل کاهش یا افزایش شدت پیک در نقاط خاص جذب می‌باشد. پیک در محدوده cm^{-1} ۳۳۴۰ مربوط به ارتعاشات کششی گروه هیدروکسیل می‌باشد که کمترین و بیشترین شدت آن به ترتیب مربوط به نمونه حاوی ۱۵ درصد آلکوکسی‌سیلان و سطح فاقد آن بود که به دلیل پیوندهای هیدروژنی متعدد بین گروه‌های هیدروکسیل سطح نخل و تترامتیل اورتو- سیلیکات شدت این پیک کاهش‌یافته است. همچنین افزایش شدت پیک ناحیه cm^{-1} ۱۰۳۰ نشان‌دهنده تعداد بیشتر پیوندهای Si-O است که این مسئله تأییدی بر اصلاح نخل در نمونه حاوی بیشترین مقدار آلکوکسی می- باشد [۱۹]. پیک ناحیه cm^{-1} ۲۹۵۰ به ارتعاشات کششی پیوند C-H آلیفاتیک نسبت داده شد که شدت آن متعاقب اصلاح افزایش یافت. پیک مشاهده‌شده در عدد موج cm^{-1} ۱۶۲۳ به فرکانس کششی انواع مختلف کربونیل (C=O) اختصاص داده‌شده است. پیک ناحیه cm^{-1} ۱۴۲۳ مربوط به ارتعاشات خمشی C-H آلیفاتیک می‌باشد. پیک ارتعاش مربوط به پیوندهای گلیکوزیدی C-O-C در ناحیه cm^{-1} ۱۰۱۵ مشاهده شد. پل‌های سیلوکسان Si-O-Si یا Si-O در محدوده ۵۲۰ و cm^{-1} ۱۱۵۰ دارای پیک جذبی می- باشند که در اثر کندانس گروه‌های سیلانول با سایر گروه- های سیلانول و یا با گروه‌های هیدروکسیل سطح سلولز ایجاد می‌شوند که با نتایج Fadavi و همکاران (۲۰۱۶) همخوانی داشت [۲۰].



شکل ۳- طیف‌سنجی زیر قرمز تبدیل فوریه سیمان (a) خرده‌های نخل (b) و تخته خرده چوب- سیمان حاوی ۱۵ درصد آلکوکسی سیلان (c)،تخته خرده چوب- سیمان حاوی ۷/۵ درصد آلکوکسی سیلان (d)و تخته خرده چوب- سیمان فاقد آلکوکسی سیلان (e)

ریزنگار میکروسکوپ الکترونی

تصاویر میکروسکوپ الکترونی تخته خرده چوب سیمان نمونه‌های شاهد و حاوی آلکوکسی سیلان ۱۵ درصد در شکل ۴ نشان داده‌شده است. ساختار تخته شاهد دارای حفره و ترک‌هایی است که در اثر اختلاط سیمان با آب و خرده‌ها به وجود آمده‌اند. در واقع پلی-ساکاریدها و مواد قندی موجود در خرده‌های نخل با محصولات هیدراتاسیون سیمان پرتلند مانند یون کلسیم واکنش داده و ترکیبات حاصل روی سطح سیمان را گرفته و مانع از هیدراتاسیون بیشتر سیمان شدند. این امر موجب عدم گیرش خرده‌های نخل باسیمان می‌گردد. به‌عبارت‌دیگر محیط قلیایی ایجادشده توسط سیمان باعث حل شدن همی‌سلولز و مواد استخراجی می‌گردد و این عمل به‌عنوان بازدارنده‌هایی برای واکنش باسیمان محسوب می‌شود. همان‌طور که در تصویر نمونه تخته خرده چوب سیمان مشاهده می‌شود عدم پیوستگی مناسب بین سیمان و خرده‌های نخل نمایان است. در نمونه اصلاح‌شده توسط عامل سیلانی، تترا متیل اورتوسیلیکات از طریق گروه‌های سیلانی می‌تواند با گروه-های هیدروکسیل اجزای تشکیل‌دهنده نخل واکنش دهد و درنتیجه اتصالات عرضی ایجادشده بین گروه‌های سیلانول با هم یا با گروه‌های هیدروکسیل سطح سلولز که طیف FTIR نیز وجود آن‌ها را تائید می‌نماید، ساختاری یکنواخت، منسجم و بدون ترک با افزایش فشردگی و برهمکنش نخل اصلاح‌شده و سیمان به وجود آمد. تصویر مربوط به نمونه حاوی آلکوکسی سیلان می‌تواند نمایانگر بهبود خواص مقاومتی و فیزیکی تخته خرده چوب سیمان باشد. با نتایج Shayestehkia و همکاران (۲۰۲۰) مطابقت داشت [۲۱].



شکل ۴- تصاویر میکروسکوپ الکترونی تخته خرده چوب سیمان (تصویر سمت چپ)و تخته خرده چوب سیمان حاوی ۱۵ درصد آلکوکسی سیلان (تصویر سمت راست)

ویژگی‌های مکانیکی و فیزیکی تخته خرده چوب سیمان

بر اساس نتایج تجزیه واریانس اثر میزان آلکوکسی سیلان بر مدول‌الاستیسیته و مقاومت خمشی، چسبندگی داخلی، جذب آب و واکشیدگی ضخامت ۲ و ۲۴ ساعت غوطه‌وری در سطح اطمینان ۹۹ درصد معنی‌دار گردید (جدول۱).

جدول ۱–مقدار F و سطح معنی‌داری اثر میزان آلکوکسی سیلان بر مدول‌الاستیسیته و مقاومت خمشی، چسبندگی داخلی، جذب آب و واکشیدگی ضخامت ۲ و ۲۴ ساعت غوطه‌وری

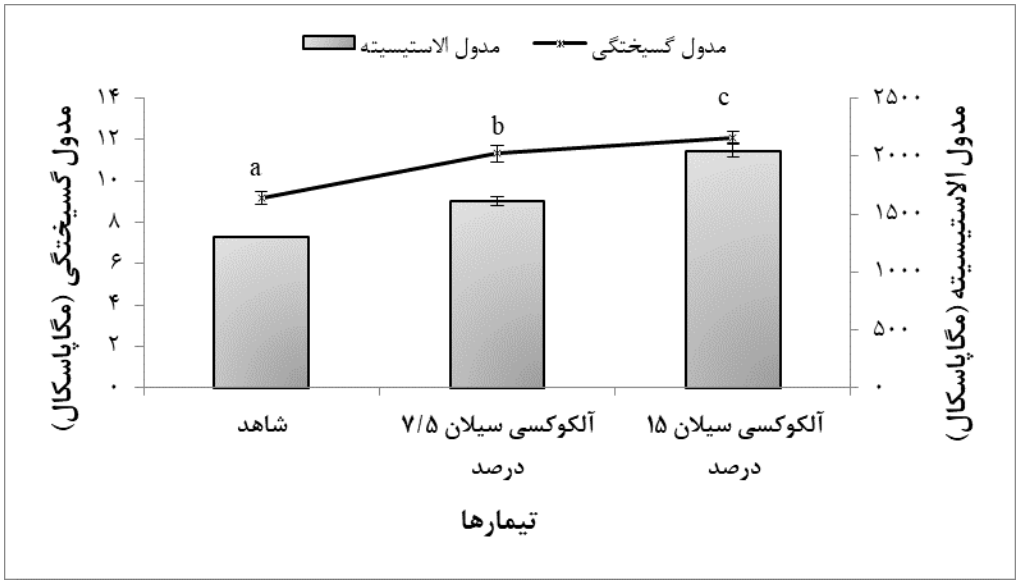
آزمون	مدول الاستیسیته	مقاومت خمشی	چسبندگی داخلی	جذب آب		واکشیدگی ضخامت	
				۲ ساعت	۲ ساعت	۲ ساعت	۲۴ ساعت
مقدارF	۱۳۹۸/۹۴۰**	۶۴/۵۰۶**	۱۹/۸۰۱**	۷۶/۳۴۶**	۷۶/۳۴۶**	/۷۱۱** ۱۳۹۴	/۶۸۷** ۱۴۰۷

**معنی‌داری در سطح اطمینان ۹۹ درصد

مقاومت خمشی و مدول الاستیسیته

شکل ۵ میانگین مدول‌الاستیسیته و مدول‌گسیختگی نمونه‌های شاهد و اصلاح‌شده با آلکوکسی سیلان را نشان می‌دهد. بر اساس نتایج مدول‌الاستیسیته در سطوح اصلاح‌شده با آلکوکسی سیلان ۷/۵ و ۱۵ درصد به ترتیب با ۲۳/۷۲ و ۵۷/۰۳ درصد افزایش در مقایسه با نمونه شاهد، تفاوت معنی‌داری داشتند. طبق جدول تجزیه واریانس مقاومت خمشی در سطوح شاهد و اصلاح‌شده دارای اختلاف معنی‌دار بودند. همان‌طور که در شکل مشاهده شد، پایین‌ترین و بالاترین مقدار مقاومت خمشی به ترتیب در نمونه شاهد برابر ۹/۲۱ مگا پاسکال و بالاترین مقدار زمانی که از آلکوکسی سیلان با میزان ۱۵ درصد استفاده شد با ۱۲/۱۲ مگا پاسکال بود که نمونه‌های اصلاح‌شده با آلکوکسی سیلان ۷/۵ و ۱۵ نسبت به نمونه شاهد به ترتیب ۲۳/۰۲ و ۳۱/۶۰ درصد افزایش داشتند. مدول‌الاستیسیته مواد مرکب به مدول‌الاستیسیته اجزای تشکیل‌دهنده آن بستگی دارد. سیمان به‌طور ذاتی دارای سفتی و مدول الاستیسیته پایینی می‌باشد درصورتی‌که الیاف چوب مدول‌الاستیسیته نسبتاً بالایی دارند؛ بنابراین

مخلوط خرده‌های چوب باسیمان باعث افزایش سفتی و مدول‌الاستیسیته تخته‌های چوب سیمان می‌گردد. همچنین خرده‌های نخل با پر کردن فضاهای خالی به دلیل داشتن ضریب لاغری مناسب باعث درهم‌رفتگی و اتصال بیشتر باسیمان شدند. اجزای تشکیل‌دهنده چوب به‌ویژه کربوهیدرات‌های با وزن مولکولی پایین و مواد استخراجی دم برگ نخل مانع گیرایی و هیدراتاسیون سیمان شده و باعث کاهش مقاومت در تخته خرده چوب-سیمان می‌شوند [۲۲]. اصلاح خرده‌های نخل با آلکوکسی سیلان و تشکیل اتصالات عرضی موجب سازگاری بیشتر بین چوب و سیمان شده که همین امر به بهبود خواص مقاومتی فرآورده منجر شد. نتایج طیف‌سنجی زیر قرمز تبدیل فوریه و تصاویر میکروسکوپ الکترونی نیز تشکیل پیوند بین نخل و آلکوکسی را تائید نمودند. به‌عبارت‌دیگر برهمکنش بیشتر سیلانول‌های ترکیب سیلانی با گروه‌های هیدروکسیل چوب و ایجاد سازگاری بیشتر چوب اصلاح‌شده باسیمان باعث بهبود خواص خمشی تخته خرده چوب سیمان می‌گردد. در همین راستا Pehanich و همکاران (۲۰۰۴) بهبود خواص مکانیکی کامپوزیت‌های چوب سیمان را هنگام استفاده از الیاف چوبی تیمار شده با آلکیل آلکوکسی گزارش کردند [۲۳].

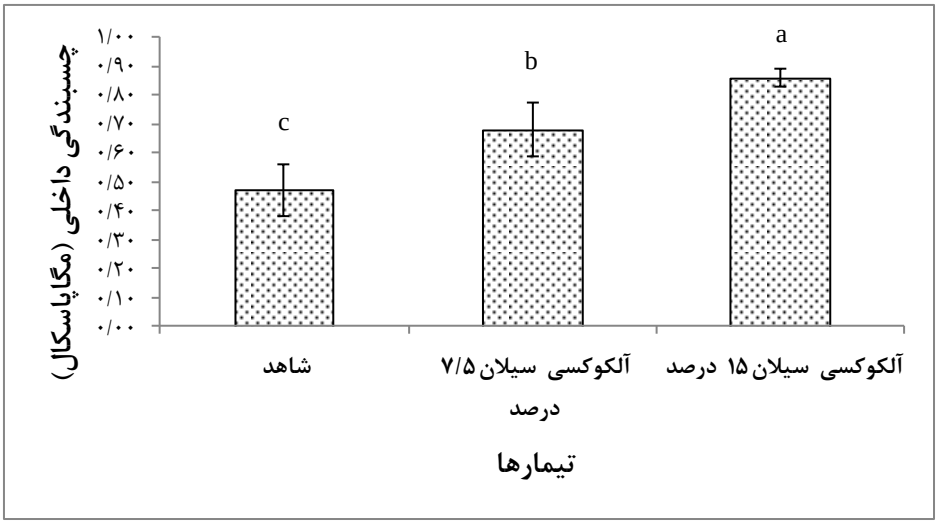


شکل ۵- اثر اصلاح شیمیایی خرده‌های نخل با آلکوکسی سیلان بر خواص خمشی تخته خرده چوب سیمان با دانسیته ۱/۲ گرم بر سانتیمتر مکعب

چسبندگی داخلی

اتصال قوی کارآمد، فشردگی و تراکم مناسب و یکنواخت خرده‌های نخل و سیمان از عوامل مؤثر بر چسبندگی داخلی تخته خرده چوب سیمان است. طبق جدول تجزیه واریانس چسبندگی داخلی در سطوح شاهد و اصلاح‌شده دارای اختلاف معنی‌دار بودند. همان‌طور که در شکل ۶ مشاهده می‌شود، پایین‌ترین مقدار چسبندگی داخلی مربوط به نمونه شاهد برابر با ۰/۴۷ مگا پاسکال و بالاترین مقدار چسبندگی داخلی هنگام استفاده از ۱۵ درصد آلکوکسی سیلان برابر با ۰/۸۶ مگا پاسکال بود که نمونه‌های اصلاح‌شده با آلکوکسی سیلان ۷/۵ و ۱۵ درصد نسبت به نمونه شاهد به ترتیب ۴۴/۶۸ و۸۲/۹۸ درصد افزایش داشتند. اصلاح شیمیایی خرده‌های نخل باعث اصلاح سطح خرده‌های لیگنوسلولزی گردید و اتصال‌های عرضی تشکیل‌شده میزان پیوستگی نخل باسیمان را افزایش داد که این امر موجب بهبود نیروی چسبندگی بین خرده‌های نخل و سیمان شد. از طرف دیگر در حضور رطوبت گروه‌های آلکوکسی روی اتم سیلیس در سیلان به سیلانول آبکافت می‌گردند. سیلانول‌ها می‌توانند از طریق هیدروژن الکترون‌دوست و واکنش‌پذیر خود با گروه‌های هیدروکسیل موجود در سطح مواد پیوند هیدروژنی برقرار کنند و در اثر حرارت هیدراتاسیون به پیوند کووالانسی Si-

O تبدیل شوند. این امر نیز باعث بهبود چسبندگی داخلی نمونه‌های حاوی آلکوکسی سیلان شد که با نتایج حافظی مازندرانی و همکاران (۲۰۱۴) مطابقت دارد [۲۴].

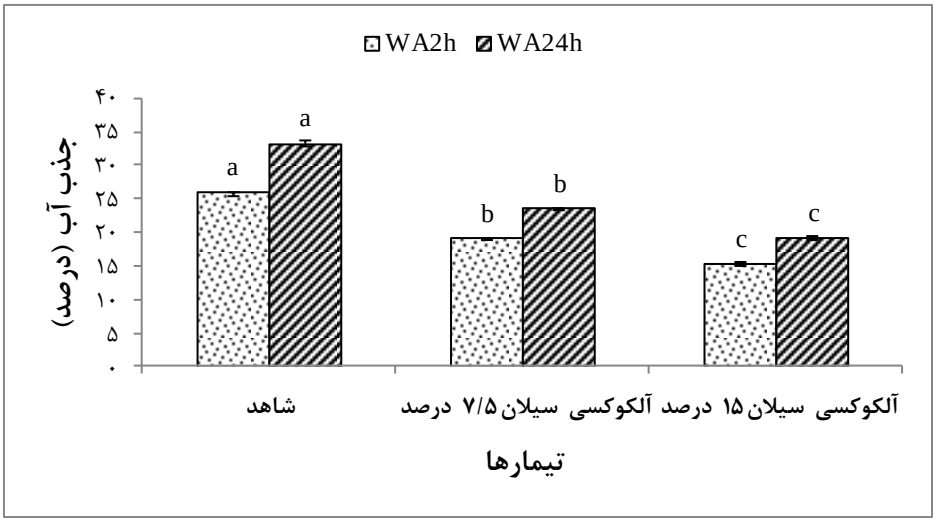


شکل ۶- اثر اصلاح شیمیایی خرده‌های نخل با آلکوکسی سیلان بر چسبندگی داخلی تخته خرده چوب سیمان

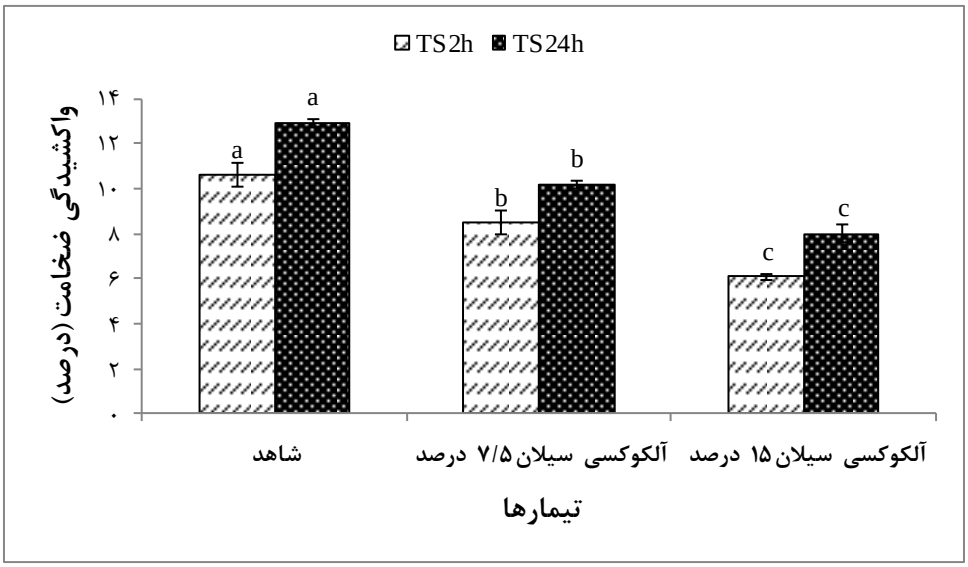
جذب آب و واکشیدگی ضخامت

طبق جدول تجزیه واریانس جذب آب و واکشیدگی ضخامت سطوح شاهد و اصلاح‌شده دارای اختلاف معنی‌دار بودند. طبق نتایج کمترین جذب آب و واکشیدگی ضخامت در طولانی‌ترین زمان غوطه‌وری مربوط به نمونه‌های اصلاح‌شده با آلکوکسی سیلان ۱۵ درصد بود که در مقایسه با نمونه شاهد به ترتیب ۴۲/۱۱ و ۳۸ درصد کاهش را نشان دادند (شکل ۷ و ۸). در فرآورده‌های چوب سیمان حضور حفره‌ها و منافذ موجود بین اجزای آن‌ها جایگاه مناسبی برای ورود مولکول‌های کوچک آب می‌باشد که باعث افزایش جذب آب و واکشیدگی ضخامت فرآورده‌ها می‌گردد. از طرف دیگر خرده‌های نخل به‌طور ذاتی آب‌دوست هستند و با وجود گروه‌های واکنش‌پذیر هیدروکسیل در سلولز و همی سلولز خود می‌توانند رطوبت زیادی از محیط اطراف جذب کنند. با ورود مولکول‌های آب به بخش آمورف ساختار سلولزی خرده‌های نخل فاصله بین زنجیره‌های سلولزی افزایش می‌یابد و باعث تغییر ابعاد و واکشیدگی ضخامت فرآورده چوب سیمان می‌گردد.

آلکوکسی سیلان ماده‌ای آبدوستو آب‌گریز می‌باشد زیرا گروه‌های هیدروکربنی در ساختار آن وجود دارد که در مواجهه با سلولز و دیگر ترکیبات چوب طرف آب‌دوست آن با هیدروکسیل سلولز جذب می‌شود و طرف آب‌گریز آن در سطح کمپلکس سلولز قرار می‌گیرد و باعث اصلاح سطحی سطح سلولز می‌گردد، دسترسی مولکول آب به گروه‌های هیدروکسیل سلولز کم می‌شود و آن را آب‌گریز می‌کند به همین علت جذب آب و متعاقب آن واکشیدگی ضخامت کم می‌شود. اصلاح شیمیایی خرده‌های نخل با آلکوکسی سیلان باعث واکنش بین گروه‌های هیدروکسیل اجزای تشکیل‌دهنده نخل با گروه‌های فعال آلکوکسی سیلان شده درنتیجه علاوه بر پیوستگی بیشتر بین نخل و سیمان و کاهش حفرات موجود بین آن‌ها، گروه‌های آب‌دوست خرده‌های نخل نیز کاهش یافت که تصاویر میکروسکوپ الکترونی نمونه‌های چوب سیمان آن را تائید نمود. نتایج مربوط به خواص فیزیکی با نتایج به‌دست‌آمده توسط Tonoli و همکاران (۲۰۱۳) مطابقت دارد [۲۵].



شکل ۷- اثر اصلاح شیمیایی خرده‌های نخل با آلکوکسی سیلان بر جذب آب تخته خرده چوب سیمان



شکل ۸- اثر اصلاح شیمیایی خرده‌های نخل با آلکوکسی سیلان بر واکشیدگی ضخامت تخته خرده چوب سیمان

نتیجه‌گیری

در این تحقیق اثر آلکوکسی‌سیلان روی سازگاری، خواص فیزیکی و مکانیکی تخته خرده چوب سیمان بررسی گردید. نتایج این مقاله حاکی از آن بود که اصلاح شیمیایی خرده‌های نخل با ۱۵ درصد تترا متیل اورتو سیلیکات برای تولید تخته سیمان، بهبود معنی‌داری روی ویژگی‌های مکانیکی و فیزیکی داشت به‌طوری‌که مقاومت چسبندگی داخلی، مدول خمشی و مدول الاستیسیته به ترتیب ۸۲/۹۸، ۳۱/۰۶ و ۵۷/۰۳ درصد نسبت به شاهد افزایش و جذب آب و واکشیدگی ضخامت در طولانی‌ترین زمان غوطه‌وری به ترتیب ۴۲/۱۱ و ۳۸ درصد کاهش را نسبت به نمونه شاهد نشان دادند. واکنش احتمالی بین گروه‌های هیدروکسیل ترکیبات نخل و گروه‌های واکنش-پذیر سیلانول و اتصال‌های عرضی تشکیل‌شده توسط پیوند هیدروژنی در تخته‌های حاوی سیلان باعث افزایش سازگاری و پیوستگی خرده‌های نخل باسیمان و بهبود خواص مکانیکی و فیزیکی گردید که نتایج طیف‌سنجی زیر قرمز و تصاویر میکروسکوپ الکترونی این مسئله را تائید نمودند. با توجه به افزایش مقاومت‌ها می‌توان از ضخامت محصول کاست که این امر باعث کاهش وزن محصول نهایی، مصرف مواد اولیه و هزینه مواد شیمیایی می‌شود.

منابع

[1] Karade, S.R., 2010. Cement-bonded composites from lignocellulosic wastes. Construction and Building Materials. 24:1323–1330.

[2] Olorunnisola, A.O., 2006. Strength and water absorption characteristics of cement-bonded particleboard produced from coconut husk. J. Journal of Civil Engineering Research and Practice, 3(1):41–49.

[3] Abdelrhman, H.A., Paridah, M.T., Shahwahid, M., Samad, A.R.A. and Abdalla, A.M.A., 2015. The effects of pre-treatments wood-cement ratios and partial cement substitution by gypsum on *Prosopischilensis* wood composites. European Journal of Wood and Wood Products, 73(4):557–559.

[4] Fan, M., Ndikontar, M.K., Zhou, X. and Ngamveng, J.H., 2012. Cement-bonded composites made from tropical woods: Compatibility of Wood and cement, Construction and Building Materials, (36):135–140.

[5] Hossain, M.U., Wang, L., Yu, I.K.M., Tsang, D.C.W. and Poon, C.S., 2018. Environmental and technical feasibility study of upcycling wood waste into cement-bonded particleboard.Construction and Building Materials, 173: 474-480.

[6] Diquélou, Y., Gourlay, E., Arnaud, L. and Kurek, B., 2016. Influence of binder characteristics on the setting and hardening of hemp lightweight concrete. Construction and Building Materials, 112: 506-517.

[7] Mahzabin, M.S., Hock, L.J., Hossain, M.S. and Kang, L.S., 2018. The influence of addition of treated kenaffibre in the production and properties of fibre reinforced foamed composite. Construction and Building Materials, 178:518-528.

[8] Caprai, V., Gauvin, F., Schollbach, K. and Brouwers, H.J.H., 2018. Influence of the spruce strands hygroscopic behaviour on the performances of wood-cement composites. Construction and Building Materials, 166:522-530.

[9] Sood, M. and Dwivedi, G., 2017. Effect of fiber treatment on flexural properties of natural fiber reinforced composites: A review. Egyptian Journal of Petroleum, 1-8.

[10] Hettegger, H., Sumerskii, I., Sortino, S., Potthast, A. and Rosenau, T., 2015. Silane Meets Click Chemistry: Towards the Functionalization of Wet Bacterial Cellulose Sheets. ChemSusChem, 8(4), 680–687.

[11] European Norm, Wood-based panels; determination of modulus of elasticity in bending and of bending strength. European Standardization Committee, German version, EN 310, 1993.

[12] European Norm, Wood-based panels. Sampling, cutting and inspection Initial type testing and factory production control. European Standardization Committee, EN 326-2, 2010.

[13] European Norm, Particleboards and fibreboards; determination of tensile strength perpendicular to the plane of the board. European Standardization Committee, German version, EN 319, 1993.

[14] European Norm, Particleboards and fibreboards; determination of swelling in thickness after immersion in water. European Standardization Committee, German version, EN 317, 1993.

[15] Saw, S.K., Sarkhel, G. and Choudhury, A., 2011. Surface modification of coir fiber involving oxidation of lignins followed by reaction with furfuryl alcohol: Characterization and stability. Applied Surface Science, 257:3763-3769.

[16] Raghavendra, S., and Lokesh, G.N., 2019. Evaluation of Mechanical Properties in Date Palm Fronds Polymer Composites. January 11, AIP Conference Proceedings 2057, p 1-5.

[17] Ylmén, R., Jaglid, U., Steenari, B.M. and Panas, I., 2009. Early hydration and setting of Portland cement monitored by IR, SEM and Vicat techniques. Cement and Concrete Research, 39:433–439.

[18] Cho, J., Waetzig, G.R., Udayakantha, M., Hong, C.Y. and Banerjee, S., 2018. Incorporation of hydroxy ethyl cellulose-functionalized halloysite as a means of decreasing the thermal conductivity of oil well cement. Scientific Reports, 8(1).

[19] Abbasi, Z., Ghorbani, M., Abedini, R. and Amininasab, S.M., 2019. Comparing the effect of modification with different silane compounds on the chemical structure and physical properties of poplar wood.Iranian Journal of Wood and Paper Industries, 10(2):223-235. (In Persian)

[20] Fadavi, F., Abdolkhani, A., Hamzeh, Y., Hettegger, H. and Rosenau, T., 2016. A novel method for cellulose modification in aqueous media via alkoxysilane chemistry. Iranian Journal of Wood and Paper Industries, 7(3):463-475. (In Persian)

[21] Shayestehkia, M., khademieslam, H., bazyar, B., Rangavar H. and Taghiyari, H R., 2020. Effects of Cellulose Nanocrystals as Extender physical and Mechanical properties of wood cement Composite Panels. Nanocomposites, BioResources, 15(4), 8291-8302.

[22] Golbabaei, F., Hosseinkhani, H., Hajihassani, R. and Rashnv, A., 2013. Investigation on properties of wood-cement panels based on Agricultural residues. Iranian Journal of Wood and Paper Science Research, 28(3):582-596. (In Persian)

[23] Pehanich, J.L., Blankenhorn, P.R. and Silsbee, M.R., 2004. Wood fiber surface treatment level effects on selected mechanical properties of wood fiber-cement composites. Cement and Concrete Research, 34:59-65.

[24] Hafezi, S.M, Enayati, A., Doosthosseiny, K., Tarmian, A. and Mirshokraee, S.A., 2014. Effect of silane coupling agent on bond improvement of urea formaldehyde resin in wheat straw particleboard. Iranian Journal of Wood and Paper Science Research, 29(2):183-189. (In Persian)

[25] Tonoli, G.H.D., Belgacem, M.N., Siqueira, G., Bras, J., Savastanojr, H. and Rocco Lahr, F.A., 2013. Processing and dimensional changes of cement based composites reinforced with surface-treated cellulose fibers. Cement, 37:68-75.

Investigation of the use of tetramethylorthosilicate (Alkoxysilane) on compatibility, mechanical and physical properties of wood-cement particleboard

Abstract

In this research, the effect of chemical treatment of palm particles with alkoxysilan on the mechanical and physical properties of wood-cement particleboard was investigated. For this purpose, palm particles were chemically treated with 7.5% and 15% alkoxysilane to make wood cement particleboard with a weight ratio of 30 to 70 and in the presence of 5% calcium chloride (based on the dry weight of cement). Test samples of mechanical (bending strength and modulus of elasticity and internal bonding) and physical (water absorption and thickness swelling) were prepared in three levels of control, 7.5% and 15% alkoxysilane according to the European standard. The results showed that the chemical treatment of palm particles with alkoxysilane had a positive effect on the mechanical and physical properties of wood cement particleboards, so that with the increase of alkoxysilane up to 15%, the maximum mechanical resistance and the lowest physical properties were obtained. The significant increase in the resistance and physical properties of the boards resulting from the addition of 15% alkoxy silane can be attributed to the reaction between the hydroxyl groups of the palm constituents with the active groups of alkoxysilane and greater cohesion between the palm particles and cement. In order to describe the effectiveness of chemical treatment, discriminate analyzes such as infrared spectroscopy and scanning electron microscopy were used. The results of Fourier transform infrared show an increase in the intensity of the peaks related to Si-O bonds in the samples modified with alkoxysilane and as a result of the chemical modification of palm particles. Also, the uniform and coherent structure of the scanning electron microscope of wood cement particleboard modified with silane agent has indicated the chemical reaction between palm particles, alkoxysilane and cement, and as a result, more compatibility and entanglement between modified palm particles and cement.

Keywords: Date Palm, Alkoxysilane, wood-cement particleboard, compatibility, mechanical and physical properties.

H. Ghasemi[1*]
M. Shamsian[2]
S. R. Farrokh payam[3]
M. Ghaffari Moghaddam[4]

[1] Ph. D Student, Department of Wood and Paper Science and Technology, Faculty of Natural Resources, University of Zabol, Zabol, Iran

[2] Associate professor, Department of Wood and Paper Science and Technology, Faculty of Natural Resources, University of Zabol, Zabol, Iran

[3] Associate professor, Department of Wood and Paper Science and Technology, Faculty of Natural Resources, University of Zabol, Zabol, Iran

[4] Associate Professor, Department of Chemistry, University of Zabol, Zabol, Iran

Corresponding author:
hanieh.ghasemi65@gmail.com

Received: 2022/07/21
Accepted: 2022/11/23