استفاده از چسب سویا اصلاح‌شده در ساخت تخته فیبر از ترکیب الیاف چوب و کارتن کهنه

سامان قهری[1*]
رضا حاجی‌حسنی[2]

[1] استادیار، بخش تحقیقات چوب و فرآورده‌های آن، مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

مسئول مکاتبات:
sghahri@rifr-ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۲/۱۲
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۶/۰۴

چکیده

با توجه به مشکلات زیست‌محیطی انتشار فرمالدهید و قوانین محدودکننده سازمان‌های نظارتی، امروزه جوامع علمی و صنعتی در دنیا استفاده از چسب‌های بدون فرمالدهید را به‌عنوان یک راهکار جایگزین برای چسب‌های متداول در تولید فرآورده‌های چوبی موردتوجه قرار داده‌اند. این تحقیق نیز باهدف بررسی استفاده از الیاف حاصل از کارتن کهنه در ساخت تخته فیبر با استفاده از چسب سویا انجام‌شده است. برای اصلاح چسب سویا از اسید تانیک به‌عنوان تانن هیدرولیز شدنی استفاده گردید. هم‌چنین الیاف کارتن کهنه با نسبت‌های وزنی ۰، ۲۵، ۵۰ و ۷۵ درصد وزن خشک الیاف چوبی در ساخت تخته فیبر استفاده شدند. نتایج حاصل از طیف‌سنجی FTIR نشان دادند که تانن مورداستفاده با اسیدهای آمینه موجود در پروتئین سویا وارد واکنش شده‌اند و احتمالاً پیوندهای کووالانسی برقرار نموده‌اند. نتایج آزمایش‌های فیزیکی و مکانیکی تخته فیبرها نیز نشان دادند که ویژگی‌های موردبررسی در تخته‌های خام تولیدشده پایین‌تر از حد استاندارد EN ۶۲۲-۵ هستند. با توجه به اینکه این تخته‌ها می‌توانند به‌صورت روکش شده به‌عنوان تخته‌های سبز و بدون انتشار فرمالدهید در مکان‌های حساس به انتشار گاز فرمالدهید مورداستفاده قرار گیرند، نیاز به بهینه‌سازی ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی این نوع از فرآورده‌های چوبی ضروری است.

واژگان کلیدی: فرآورده‌های چندسازه چوب، الیاف بازیافتی، چسب دوست دار محیط‌زیست، تانن.

مقدمه

رشد روزافزون صنایع تولیدات چوبی در دهه‌های اخیر سبب افزایش مصرف چوب شده است. درنتیجه به دلیل محدودیت منابع تولیدکننده چوب و افزایش قیمت چوب صنایع مرتبط به‌طورجدی به دنبال یافتن منابع جایگزین برای تأمین ماده اولیه خود هستند. در کشور ما نیز با توجه به آمارهای ارائه‌شده توسط AIWIE[1] (انجمن کارفرمایان صنایع چوب ایران) در سال ۲۰۱۸ برای دو صنعت مهم تولیدات فرآورده‌های چوبی، یعنی صنعت تخته فیبر و صنعت تخته خرده چوب (بدون در نظر گرفتن صنایع غیرفعال و پروژه‌ها) مشاهده می‌گردد که میزان تولید تخته فیبر در کشور در سال ۱۳۹۷ به حدود ۱,۶۶۰,۳۹۷ مترمکعب رسیده است که نشان‌دهنده‌ی رشد ۳۳/۵ درصدی نسبت به سال ۱۳۹۶ می‌باشد. هم‌چنین میزان تولید تخته‌خرده چوب نیز در سال ۱۳۹۷ حدود ۸۷۸,۶۷۷ مترمکعب است که نسبت به سال قبل ۰/۳ درصد کاهش نشان داده است. با توجه به مشکلات موجود

[1] Association of Iran wood industries employers

آمار دقیقی از میزان برداشت و مصرف چوب در کشور وجود ندارد اما مشاهده می‌گردد که فقط دو صنعت تخته فیبر و تخته خرده چوب بیش از ۲/۵ میلیون مترمکعب در سال انواع تخته فیبر و تخته خرده چوب تولید می‌کنند. با در نظر گرفتن ضرایب تقریبی مصرف چوب به ترتیب برای صنعت تخته فیبر در کشور حدود ۲,۰۷۵,۴۹۶ مترمکعب و برای تخته خرده چوب حدود ۹۴۸,۹۷۱ مترمکعب در سال ۱۳۹۷ چوب مصرف‌شده است. با فرض مقدار kg/m^3 ۶۵۰ برای دانسیته ماده چوبی مورداستفاده در این صنایع، حدود ۲ میلیون تن چوب مصرف‌شده است. با توجه به سایر صنایع مرتبط با تولیدات چوبی، مانند صنایع خمیر و کاغذسازی، صنایع تولید مصنوعات چوبی و مبلمان در نظر گرفتن مصرف بیشتر از ۲ میلیون تن چوب خام در کشور در همان سال دور از انتظار نیست. با توجه به این‌که موضوع واردات چوب همواره با محدودیت‌هایی مانند هزینه و قوانین سازمان حفظ نباتات روبه‌رو است، می‌توان چنین استنباط کرد که عمده مصرف چوب صنایع مذکور از گونه‌های حاشیه رودخانه‌ها، جنگل‌ها و زراعت چوب تأمین‌شده‌اند. هم‌چنین با توجه به اجرای طرح تنفس جنگل در سال‌های اخیر و نو پا بودن مقوله زراعت چوب در ایران، محدودیت‌های تأمین ماده اولیه ناشی مصرف چندین میلیون تن چوب در سال و قیمت فزاینده چوب خام در سال‌های اخیر سبب شده که موضوع تأمین چوب به‌طورجدی تر از گذشته مطرح باشد. در همین راستا، یکی از منابعی که می‌تواند به‌عنوان جایگزین چوب مطرح باشد فرآورده‌های چوبی مصرف‌شده درگذشته می‌باشد. در سال‌های اخیر یکی از مشکلات زندگی‌های جوامع انسانی، افزایش روزافزون زباله‌های جامد شهری و پسماندهای چوبی و کاغذی است. در آماری که آژانس حفاظت محیط‌زیست (EPA) کشور ایالات‌متحده آمریکا ارائه کرده است بیان‌شده است که در سال ۲۰۱۷ میلادی حدود ۲۵ درصد از کل ضایعات جامد شهری مربوط به کاغذ و محصولات کاغذی است. این مقدار حدود ۶۷ میلیون تن ضایعات کاغذی در همان سال است و از این مقدار ضایعات تولیدشده حدود ۴۷ درصد بازیافت شده و به نحوی وارد چرخه مصرف‌شده است. مقادیر ارائه‌شده نشان‌دهنده پتانسیل بالای محصولات کاغذ بازیافتی برای استفاده دوباره در تولید فرآورده‌های جدید است. تلاش دانشمندان نیز در سال‌های اخیر بر استفاده بهینه از این مواد و بازیافت آن‌ها در چرخه تولید می‌باشد. در مورد ویژگی‌های فرآورده‌های کاغذی باطله پژوهش‌های بسیاری صورت گرفته‌اند. در کنار امتیازاتی که استفاده از کاغذهای باطله در صورت استفاده دوباره در چرخه تولید دارند؛ دارای نقطه‌ضعف‌هایی نیز می‌باشند. برای مثال الیاف کاغذهای باطله به علت آن‌که حداقل یک‌بار در فرآیند تولید قرارگرفته‌اند؛ دستخوش تغییراتی می‌شوند که ممکن است در صورت استفاده دوباره در فرآیند تولید محدودیت‌هایی را ایجاد نمایند [۱]. هم‌چنین در صورت بازیافت و استفاده دوباره، بسته به تعداد دفعات بازیافت، ممکن است این ویژگی‌ها تشدید شوند و منجر به افت خواص محصول نهایی گردند. بسیاری از محققان کاهش ویژگی‌ها الیاف کاغذهای بازیافتی را به علت تغییرات ساختاری برگشت‌ناپذیر در دیواره الیاف نسبت می‌دهند که به‌واسطه روش خمیرسازی، تغییر میزان مواد غیرسلولزی (همی سلولز، لیگنین و مواد استخراجی) و به‌ویژه شرایط خشک‌کردن ایجاد می‌شوند. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده از بررسی‌های انجام‌شده درباره الیاف کاغذهای باطله و اثرات آن‌ها بر کیفیت کاغذ، استفاده از این الیاف بازیافتی در تهیه چندسازه‌های لیگنوسلولزی می‌تواند راهکاری قابل‌بررسی باشد. الیاف کاغذی مانند الیاف کارتن کهنه به دلیل ماهیت شیمیایی دیواره سلولی خود یعنی خارج شدن قسمتی از لیگنین از دیواره سلولی نسبت به الیاف چوبی از سفتی (Stiffness) کمتری برخوردارند. این عامل سبب ضعف خواص مکانیکی چندسازه‌های ساخته‌شده از این الیاف می‌گردد. نتایج پژوهش‌های پیشین نشان می‌دهند که ویژگی‌های مکانیکی تخته‌های ساخته‌شده از الیاف بازیافتی مانند الیاف روزنامه کهنه و کارتن بازیافتی کاهش نشان می‌دهند [۱، ۲ و ۳]. پژوهش‌های ارزشمندی در رابطه با امکان‌سنجی تولید چندسازه‌های فیبری از کاغذهای بازیافتی نظیر الیاف حاصل از کارتن‌های کهنه (OCC)، الیاف کاغذ روزنامه کهنه (ONP) و الیاف چوبی و چسب اوره فرمالدهید انجام‌شده است. نتایج این پژوهش عمدتاً

[1] Environmental Protection Agency

نشان دادند که علیرغم کاهش برخی ویژگی‌های مکانیکی فرآورده ساخته‌شده، الیاف حاصل از کاغذهای ضایعاتی می‌توانند همانند الیاف چوب در ساخت تخته فیبر با دانسیته متوسط با ویژگی‌های قابل‌قبول مورداستفاده قرار گیرند [۲، ۳، ۴، ۵، ۶، ۷، ۸، ۹]. امروزه به دلیل بحث انتشار گاز فرمالدهید و خطرات آن برای انسان، هزینه پایین، دوام و فاکتورهای دسترسی و دوستدار محیط‌زیست بودن، چسب‌های طبیعی در حال جایگزینی چسب‌های سنتزی معمول، مانند اوره فرمالدهید و فنل فرمالدهید هستند [۱۰، ۱۱]. این نکته از منظر کاهش انتشار فرمالدهید و تلاش برای کاهش آلایندگی محیط‌زیست بسیار حائز اهمیت است؛ اما چسب‌های طبیعی مانند سویا نقطه‌ضعف‌هایی مانند ویسکوزیته بالا و مقامت به آب پایین دارند که نیازمند اصلاح هستند. امروزه در راستای بهینه‌سازی و اصلاح خواص چسب‌های سویا پژوهش‌های متعددی روی مؤلفه‌های اثرگذار چسب سویا مانند اثر دانه‌بندی و pH چسب و اصلاح ویژگی‌های چسب با مواد شیمیایی مانند اسیدسیتریک، اسید بوریک و پلی آمیدومین اپی کلروهیدین و مواد طبیعی مانند تانن ها در تولید فرآورده های چوبی نظیر تخته لایه و تخته خرده چوب انجام شده اند [۱۲، ۱۳، ۱۴]. تانن ها از دسته مواد طبیعی در دو نوع کلی تانن هیدرولیز شونده و تانن متراکم هستند که قابلیت برقرای پیوند با پروتئین ها را دارند. نتایج تحقیقات انجام شده نشان داده اند که هر دو نوع تانن هیدرولیز شدنی و تانن متراکم قابلیت اصلاح چسب سویا در تولید تخته لایه و تخته خرده چوب را دارند. برای ارزیابی دقیق تر واکنش بین تانن و سویا، واکنش‌های مولکولی و شیمیایی چسب های اصلاح شده پروتئین خالص سویا (پروتئین ایزوله سویا) و آرد سویا با تانن با استفاده از طیف سنجی MALDI-ToF مورد بررسی قرار گرفتند. نتایج به دست آمده از این مطالعه نشان دادند که احتمال برقراری پیوندهای کوالانسی و یونی بین گروه های عاملی تانن‌ها و اسیدهای آمینه موجود در پروتئین سویا وجود دارد [۱۵، ۱۶، ۱۷]. در رابطه با بررسی ویژگی‌های چسب سویا با آنالیز ترمومکانیکی (TMA[1]) پژوهشی توسط قهری و همکاران انجام شد. نتایج ارزیابی TMA نشان دادند که افزودن تانن به آرد سویا سبب افزایش مدول الاستیسیته چسب می‌شود [۱۸]. نتایج تحقیقات انجام شده روی استفاده از چسب سویا در ساخت فرآورده های چوبی نیز نشان می دهند که امکان ساخت فرآورده های چوبی، بدون انتشار فرمالدهید، نظیر تخته لایه و تخته خرده چوب با استفاده از چسب سویا اصلاح شده وجود دارد [۱۳، ۱۴، ۱۵، ۱۶، ۱۷، ۱۸]؛ بنابراین با توجه به میزان تولید ضایعات کاغذی در بین ضایعات جامد شهری؛ کاغذهای کارتن کهنه پتانسیل مناسبی را برای جایگزینی بخشی از مواد چوبی مورداستفاده در ساخت فرآورده‌های مرکب چوبی دارند. با استفاده از این الیاف بازیافتی، ضمن استفاده از ضایعات می‌توان ارزش‌افزوده بیشتری برای آن‌ها با تولید فرآورده مرکب چوبی ایجاد نمود. هم‌چنین با توجه به رویکرد استفاده از چسب‌های بدون فرمالدهید در تولید فرآورده‌های مرکب، استفاده از چسب سویا نیز می‌تواند به هدف جهانی کاهش انتشار گاز فرمالدهید از فرآورده‌های چوبی کمک کند؛ بنابراین هدف از این پژوهش امکان‌سنجی استفاده از چسب سویا اصلاح‌شده با تانن هیدرولیز شدنی اسید تانیک در ساخت تخته فیبر از ترکیب الیاف کارتن کهنه به همراه الیاف چوب و تعیین نسبت مناسب الیاف در ساخت تخته فیبر سبز می‌باشد.

مواد و روش‌ها

کنجاله سویا چربی‌گیری شده حاصل از سویا واریته جی تی ایکس از کارخانه بهپاک بهشهر (شرکت صنعتی بهپاک) خریداری شد و با استفاده از آسیاب آزمایشگاهی به آرد تبدیل شد. اسید تانیک با فرمول کلی $C_{76}H_{52}O_{46}$ مورداستفاده از شرکت Merck آلمان خریداری شد.

آرد سویا پس از غربال کردن با نسبت ۱ به ۲ در آب مقطر به مدت ۳۰ دقیقه در دمای اتاق هم زده شد تا دوغاب آرد سویا حاصل شود. سپس برای اصلاح چسب آرد سویا، محلول ۴۵ درصد اسید تانیک با نسبت وزنی ۱۰ درصد (بر اساس وزن خشک آرد سویا) به دوغاب سویا اضافه شد و به مدت ۳۰ دقیقه در دمای اتاق هم زده شد. سپس محلول ۵۰ درصد اوره برای افزایش درصد ماده جامد چسب به ترکیب چسب سویا- اسید تانیک افزوده

[1] Thermomechanical analysis

شد. الیاف چوبی موردنیاز در این تحقیق نیز از شرکت صنایع چوب خزر کاسپین تهیه گردیدند و در آون و در دمای ۲± ۱۰۳ درجه سانتی گراد به مدت ۲۴ ساعت خشک شدند. برای تهیه الیاف کارتن کهنه، خمیر شستشو شده کارتن کهنه پس از خمیرسازی از کارخانه افرنگ نور تهیه شد. سپس توسط دستگاه مکانیکی جداسازی آزمایشگاهی با دور بالا خمیر کارتن کهنه از هم باز شد و به الیاف تبدیل گردید. الیاف حاصل در آون در دمای ۲± ۱۰۳ درجه سانتی گراد و به مدت ۲۴ ساعت خشک شدند.

برای بررسی گرانروی چسب‌های ساخته‌شده از دستگاه اندازه‌گیری گرانروی مدل Brookfield DV- II استفاده شد. برای اندازه‌گیری مقدار گرانروی در زمان ۶۰ ثانیه از اسپیندل شماره ۶ و سرعت ۱۰۰ دور دقیقه (rpm) استفاده شد. pH ترکیب‌های مختلف چسب سویا با استفاده از pH meter مدل HANA مورد ارزیابی قرار گرفتند. دانسیته هریک از چسب‌های سویا با استفاده از پیکنومتر بر اساس استاندارد ASTM D ۱۲۱۷-۹۳ اندازه‌گیری شدند و نتایج آن‌ها در جدول ۱ ارائه شدند.

طیف‌سنجی زیر قرمز تبدیل فوریه[1]FTIR

برای بررسی کیفی ساختار شیمیایی چسب سویا اصلاح‌شده از دستگاه Spectrum 400 (Perkin Elmer) باقابلیت اسکن سریع استفاده شد. تصحیح خط پایه توسط نرم‌افزار دستگاه صورت گرفت. ۳ میلی‌گرم پودر چسب سویا با ۳۰۰ میلی‌گرم پودر KBr به‌صورت فیزیکی باهم مخلوط شدند و سپس با استفاده از پرس تبدیل به قرص شدند. محدوده طیف‌سنجی این آنالیز، از عدد موجی ۴۰۰۰ تا ۴۰۰cm-1 باقدرت تفکیک cm-1 ۴ بوده است.

ساخت تخته فیبر با چسب سویا اصلاح‌شده

برای ساخت تخته فیبر، الیاف بازیافتی کارتن کهنه با نسبت‌های ۰، ۲۵، ۵۰ و ۷۵ درصد (بر اساس وزن کل الیاف) با الیاف چوبی صنعتی مورداستفاده در ساخت تخته فیبر (مخلوط گونه‌های چوبی) تهیه‌شده از شرکت خزر کاسپین آمل مخلوط شدند. عملیات چسب زنی برای مخلوط الیاف خشک‌شده و با چسب اصلاح‌شده سویا به میزان ۱۲ درصد (بر اساس وزن خشک الیاف بازیافتی) با استفاده از سیستم اسپری و سرعت چرخش حدود ۲۰ دور دقیقه با چسب زن آزمایشگاهی انجام شد. در ادامه کیک الیاف چسب خورده آماده شد و در دمای ۲۰۰ درجه سانتی گراد و زمان ۸ دقیقه و فشار ۳۵ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع با پرس داغ آزمایشگاهی در دانشگاه تربیت مدرس به تخته‌هایی باضخامت ۱۰ میلی‌متر و دانسیته ۰/۷۰ گرم بر سانتی‌متر مکعب تبدیل شدند. برای بررسی اثر اصلاحی اسید تانیک بر ویژگی‌های چسب آرد سویا و نسبت اختلاط الیاف کارتن کهنه با الیاف چوبی، چندسازه‌های فیبری ساخته‌شده باهم مقایسه شدند. هم‌چنین برای مقایسه بهتر با سایر چندسازه‌های فیبری هم‌رده، ویژگی‌های چندسازه فیبری ساخته‌شده با استاندارد اروپایی EN ۶۲۲-۵ نیز مطابقت داده شدند.

ارزیابی ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی تخته فیبر

ارزیابی میزان مقاومت به آب چندسازه فیبری طبق استاندارد EN ۳۱۷ برای نمونه‌هایی با ابعاد (ضخامت) ۱۰ ×(عرض) ۵۰ × (طول) ۵۰ میلی‌متر صورت گرفت. هم‌چنین طبق استاندارد EN ۳۱۰ آزمون مقاومت خمشی و مدول الاستیسیته خمشی برای نمونه‌هایی با ابعاد (ضخامت) ۱۰ ×(عرض) ۵۰ × (طول) ۲۵۰ میلی‌متر انجام

ارزیابی ویژگی‌های چسب

برای اندازه‌گیری درصد ماده جامد، ۵ گرم از چسب سویا را در داخل فویل آلومینیومی ریخته و در آون در دمای۲ ± ۱۰۳ درجه سانتی‌گراد تا رسیدن به وزن ثابت (حدود ۳ ساعت) حرارت دهی شد تا وزن خشک آن تعیین گردد. بر اساس رابطه ۱ از تقسیم وزن خشک چسب به وزن‌تر آن درصد ماده جامد چسب محاسبه گردید.

(۱) درصد ماده جامد= (وزن‌تر چسب (گرم) / وزن خشک چسب (گرم)) × ۱۰۰

[1] Fourier Transform Infra-Red

شدند. برای مقایسه میزان چسبندگی داخلی نمونه‌هایی با ابعاد (ضخامت) ۱۰ ×(عرض) ۵۰ × (طول) ۵۰ میلی‌متر طبق استاندارد EN ۳۱۹ مورد ارزیابی قرار گرفتند. برای بررسی اثر اصلاح چسب آرد سویا با اسید تانیک و انتخاب تیمار بهینه ترکیب الیاف چوب و کاغذ کارتن کهنه از طرح آماری کاملاً تصادفی متعادل استفاده شد. با آزمون پارامتری آنالیز واریانس یک‌طرفه (ANOVA) امکان وجود اختلاف آماری بین تیمارهای مختلف در سطح اطمینان ۹۵ درصد (p=۰/۰۵) ارزیابی شدند. برای انجام آنالیزهای آماری نیز از نرم‌افزار SPSS استفاده شد.

نتایج و بحث

اثر افزودن اسید تانیک بر ویژگی فیزیکی و شیمیایی چسب‌های سویا

ویژگی‌های چسب‌های آرد سویا اصلاح‌شده با اسید تانیک در جدول ۱ ارائه‌شده است. مشاهده می‌شود که افزودن اسید تانیک به ترکیب چسب سبب کاهش pH آن می‌گردد. گرانروی چسب سویا نیز در جدول ۱ ارائه‌شده است. بر اساس یافته‌ها افزودن اسید تانیک به سویا سبب کاهش محسوس میزان گرانروی چسب سویا می‌گردد. کاهش گرانروری چسب سویا با استفاده از اسید تانیک دست آورد قابل قبولی محسوب می‌شود؛ زیرا همان‌طور که پیش‌تر بیان شد یکی از مهم‌ترین مشکلات چسب‌های سویا بالا بودن گرانروی در آن‌ها است. یکی از دلایلی که می‌تواند به‌عنوان بیان‌کننده دلیل کاهش گرانروی در اثر افزودن اسید تانیک به چسب سویا مطرح باشد، اثرگذاری آن بر رفتار کلوئیدی دوغاب سویا است [۱۹]. به‌عبارت‌دیگر، این تغییرات تحت تأثیر عوامل پیچیده‌ای ناشی از سینتیک و ترمودینامیک واکنش تانن با ذرات کلوئیدی آرد سویا در آب می‌باشد. تغییر گرانروی چسب سویا با افزودن تانن‌ها به دلیل تغییر رفتار کلوئیدی ذرات آرد سویا و تغییر ماهیت آب‌دوستی و آب‌گریزی آن است.

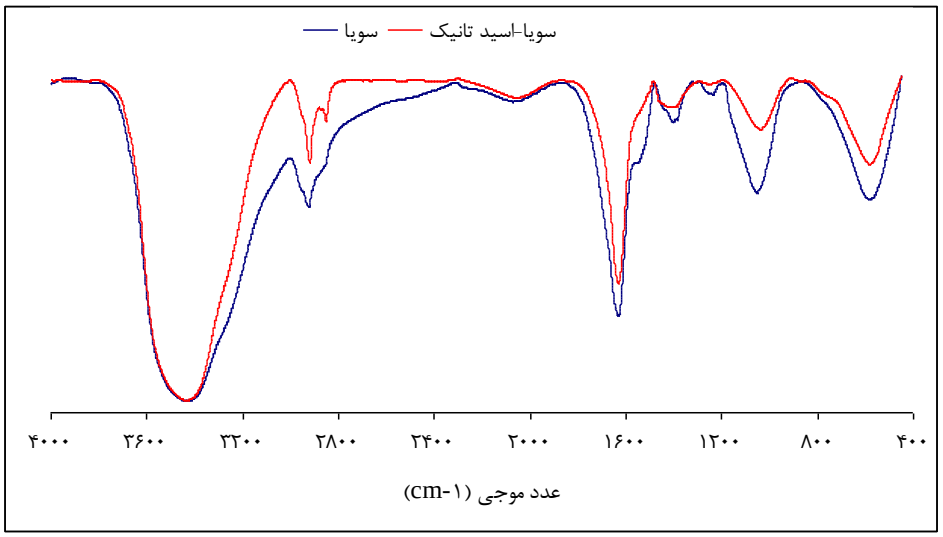
جدول ۱- ویژگی‌های ترکیب‌های مختلف چسب سویا

ترکیب چسب	pH	ماده جامد (%)	گرانروی (cP)	دانسیته (g/cm^3)
آرد سویا-اوره	۶/۸	۴۰/۱	۶۴۰۵	۱/۱۰
آرد سویا-اوره-اسید تانیک (۱۰ درصد)	۵/۴	۴۰/۲	۱۹۸۰	۱/۱۱

طیف‌سنجی زیر قرمز تبدیل فوریه[1] FTIR

طیف‌های ترکیب چسب سویا اصلاح‌شده با ۱۰ درصد اسید تانیک در شکل ۱ نشان داده‌شده‌اند. پیک‌های نمایان شده آرد سویا در عددهای موجی $3465\ cm^{-1}$ مربوط به گروه‌های عاملی OH- و NH- آزاد و متصل، $2959\ cm^{-1}$، $2926\ cm^{-1}$ مربوط به گروه‌های $-CH_2$ و CH_3، $1735\ cm^{-1}$ مربوط به ارتعاش C=O در استرها (R-COO-R')، $1681\ cm^{-1}$ و $1539\ cm^{-1}$ مربوط به امیدهای نوع اول و نوع دوم، $1403\ cm^{-1}$ مربوط به ارتعاش گروه عاملی $-COO$ و $1326\ cm^{-1}$ مربوط به گروه آمین، $1243\ cm^{-1}$ مربوط به آمید نوع سوم، $1165\ cm^{-1}$، $1150\ cm^{-1}$، $1054\ cm^{-1}$ و $1030\ cm^{-1}$ مربوط به آمین نوع اول ($R\text{-}CH_2\text{-}NH_2$) و $871\ cm^{-1}$ نیز مربوط به آمین نوع اول و دوم می‌باشند. نتایج طیف‌سنجی در اعداد موجی $1326\ cm^{-1}$ و $871\ cm^{-1}$ مربوط به گروه‌های آمین نوع اول و دوم ($-R\text{-}NH_2$ و R-NH) نشان می‌دهند که این گروه‌های عاملی با اسید تانیک وارد واکنش شده‌اند. هم‌چنین افزایش در عدد موجی $1735\ cm^{-1}$ نیز می‌تواند نشان‌دهنده برقراری پیوندهای استری بین گروه هیدروکسیل تانن و گروه کربوکسیل اسیدهای آمینه پروتئین سویا باشد.

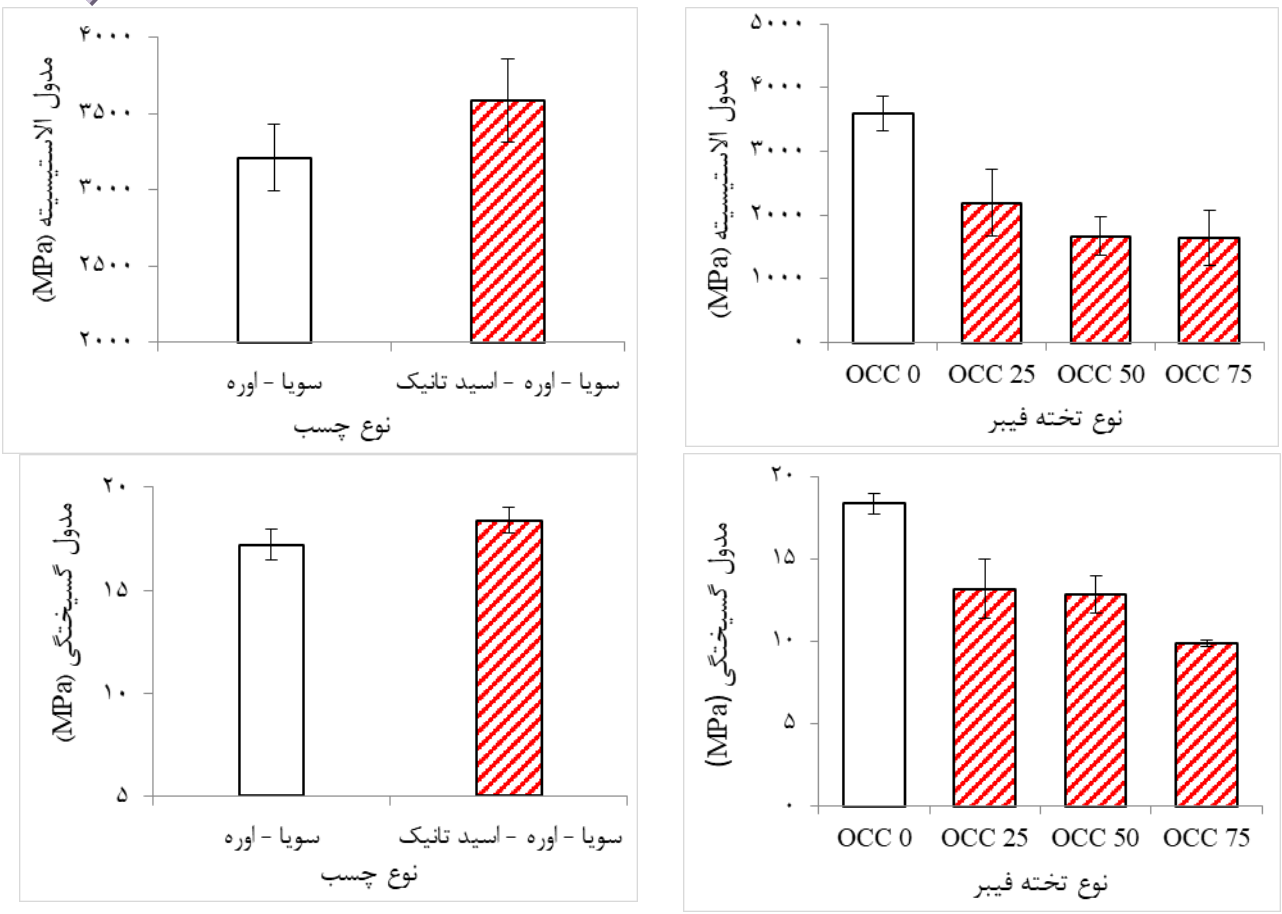
[1] Fourier Transform Infra-Red



شکل ۱- طیف‌سنجی FTIR چسب سویا اصلاح‌شده

ویژگی‌های خمشی تخته فیبر

در شکل۲، اثر نوع چسب بر مدول‌های گسیختگی و الاستیسیته تخته‌های فیبر ساخته‌شده از الیاف چوب نشان داده‌شده‌اند. نتایج نشان دادند که افزودن اسید تانیک به چسب آرد سویا سبب افزایش مقدار مدول الاستیسیته از حدود ۳۲۱۳ مگاپاسکال به ۳۵۹۰ مگاپاسکال و مدول گسیختگی در تخته‌های فیبر از حدود ۱۷ مگاپاسکال به ۱۸ مگاپاسکال شده است. افزودن اسید تانیک به چسب آرد سویا به دلیل برقراری پیوندهای عرضی با اسیدهای آمینه پروتئین سویا سبب افزایش ویژگی‌های خمشی در تخته‌های فیبر ساخته‌شده با چسب اصلاح‌شده آرد سویا می‌گردد [۱۷]. مدول های گسیختگی و الاستیسیته تخته‌های فیبر ساخته‌شده از ترکیب الیاف چوب و الیاف کاغذ کارتن کهنه با چسب سویا-اوره- اسید تانیک در شکل ۲ نشان داده‌شده‌اند. نتایج نشان دادند که با افزایش نسبت جایگزینی الیاف OCC با الیاف چوب مدول الاستیسیته و مدول گسیختگی تخته فیبر کاهش می‌یابند. به‌طوری‌که مقدار مدول الاستیسیته از ۳۵۹۰ مگاپاسکال در آزمونه‌های ساخته‌شده با الیاف چوب (بدون OCC) تا حدود ۱۶۴۰ مگاپاسکال در آزمونه‌های با ۷۵ درصد OCC - الیاف چوب کاهش‌یافته است. از مؤلفه‌های اثرگذار روی ویژگی‌های مکانیکی تخته فیبر مقاومت ذاتی الیاف و ابعاد الیاف مورداستفاده در ساخت آن می‌باشد. الیاف کارتن کهنه به دلیل کوچک بودن ابعادشان و پایین بودن نسبت طول به قطر الیاف و هم‌چنین ضعف ذاتی‌شان که به دلیل گذر از پروسه‌های مختلف بازیابی آن‌ها است؛ علاوه بر کاهش درهم‌رفتگی و برقراری اتصال بین الیاف، سبب کاهش میانگین مقاومت ذاتی الیاف نیز می‌شوند. هم‌چنین الیاف کاغذی مانند الیاف کارتن کهنه به دلیل ماهیت شیمیایی دیواره سلولی خود؛ یعنی خارج شدن قسمتی از لیگنین از دیواره سلولی نسبت به الیاف چوبی از سفتی (Stiffness) کمتری برخوردارند. این عامل سبب ضعف خواص مکانیکی چندسازه‌های فیبری ساخته‌شده از آن‌ها می‌گردد. درنتیجه جایگزینی الیاف کارتن کهنه با الیاف چوب و افزایش نسبت این جایگزینی سبب افت محسوس خواص خمشی در تخته‌های فیبر ساخته‌شده می‌گردد [۴ و۹]. از مقایسه مقادیر مدوله‌ای گسیختگی (۲۲ N/mm^2) و مدول الاستیسیته (۲۵۰۰ N/mm^2) تخته‌های فیبر با استاندارد EN ۶۲۲-۵ برای تخته فیبرهای با دانسیته متوسط برای استفاده در شرایط خشک، مشاهده می‌گردد که مدول گسیختگی تخته‌های ساخته‌شده از مقادیر پایین‌تری نسبت به استاندارد برخوردارند. هم‌چنین جایگزینی الیاف کارتن کهنه با الیاف چوب و نیز افزایش نسبت این جایگزینی سبب کاهش بیشتر مدول های الاستیسیته و گسیختگی تخته‌ها نسبت به مقادیر استاندارد شدند؛ اما در صورت استفاده از این تخته‌ها به‌عنوان تخته مغزی در تولید دیوار و سقف (کاربرد دکوراسیونی) حداقل مقادیر لازم برای این تخته‌ها به‌دست‌آمده است و این تخته‌ها برای مصارف مذکور قابل‌استفاده خواهند بود.

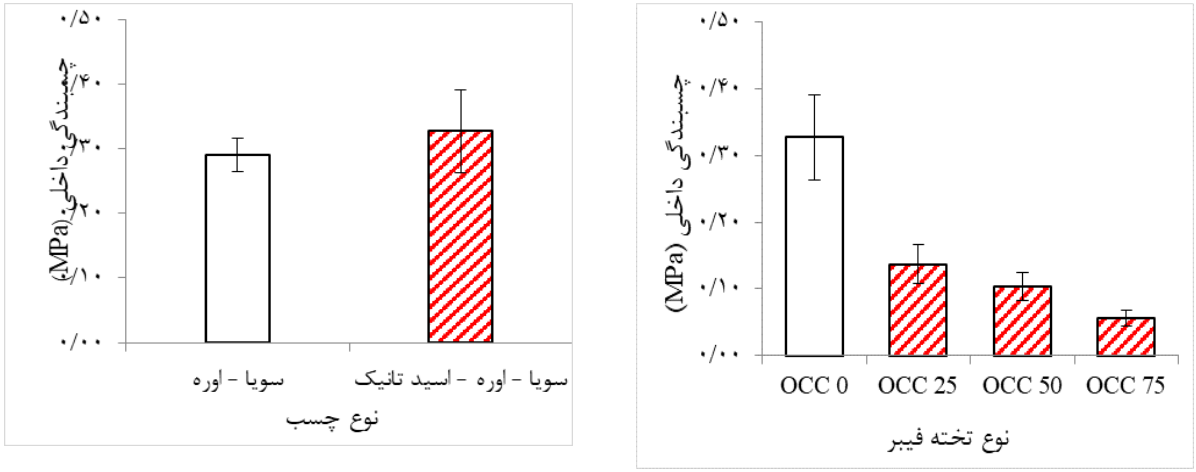


شکل ۲- اثر چسب و نسبت الیاف کارتن کهنه بر مدول الاستیسیته و مدول گسیختگی؛ OCC: الیاف کارتن کهنه

چسبندگی داخلی تخته فیبر

اثر نوع چسب روی چسبندگی داخلی تخته‌های فیبر ساخته‌شده از الیاف چوب در شکل ۳ نشان داده‌شده‌اند. نتایج نشان دادند که مقدار چسبندگی داخلی در تخته‌های فیبر ساخته‌شده با چسب اصلاح‌شده سویا (۰/۳۳ مگاپاسکال) بیشتر از تخته‌های فیبر ساخته‌شده با چسب اصلاح‌نشده (۰/۲۹ مگاپاسکال) می‌باشد. به‌عبارت‌دیگر اسید تانیک با اصلاح چسب آرد سویا سبب افزایش مقدار چسبندگی داخلی در تخته‌های ساخته‌شده با چسب اصلاح‌شده آرد سویا شده است. این پدیده به دلیل برقراری پیوندهای بین اسید تانیک و پروتئین سویا می‌باشد. اسید تانیک از طریق برقراری پیوند با گروه OH– با گروه‌های آمین و آمیدی اسیدهای آمینه سبب افزایش مقاومت چسب اصلاح‌شده و درنتیجه آن افزایش چسبندگی داخلی در تخته‌های فیبر می‌گردد. هم‌چنین چسبندگی داخلی تخته‌های فیبر ساخته‌شده با چسب سویا-اوره- اسید تانیک و ترکیب الیاف چوب و الیاف کاغذ کارتن کهنه در شکل ۳ نشان داده‌شده‌اند. نتایج نشان دادند که افزودن و افزایش نسبت الیاف کاغذ کارتن کهنه به الیاف چوبی مورداستفاده در ساخت تخته فیبر سبب کاهش بیشتر چسبندگی داخلی تخته فیبر شدند. الیاف کاغذ کارتن به دلیل کوچکی ابعاد دارای سطح ویژه بیشتری نسبت به الیاف چوبی هستند. این مسئله سبب جذب بیشتر چسب و جلوگیری از پخش یکنواخت آن بین الیاف می‌شود و درنتیجه این پدیده، چسبندگی داخلی تخته‌های فیبر ساخته‌شده با الیاف کاغذ کارتن کاهش می‌یابد. هم‌چنین فرآیند بازیابی الیاف کاغذ نیز سبب کاهش قابلیت اتصال‌پذیری آن‌ها نیز می‌گردد [۴] که این نیز عاملی در کاهش مقدار چسبندگی داخلی است. نتایج آزمون چسبندگی داخلی برای تخته‌های فیبر ساخته‌شده با الیاف چوبی و هم‌چنین ترکیب الیاف چوبی با الیاف OCC با چسب سویا- اوره- اسید تانیک در مقایسه با

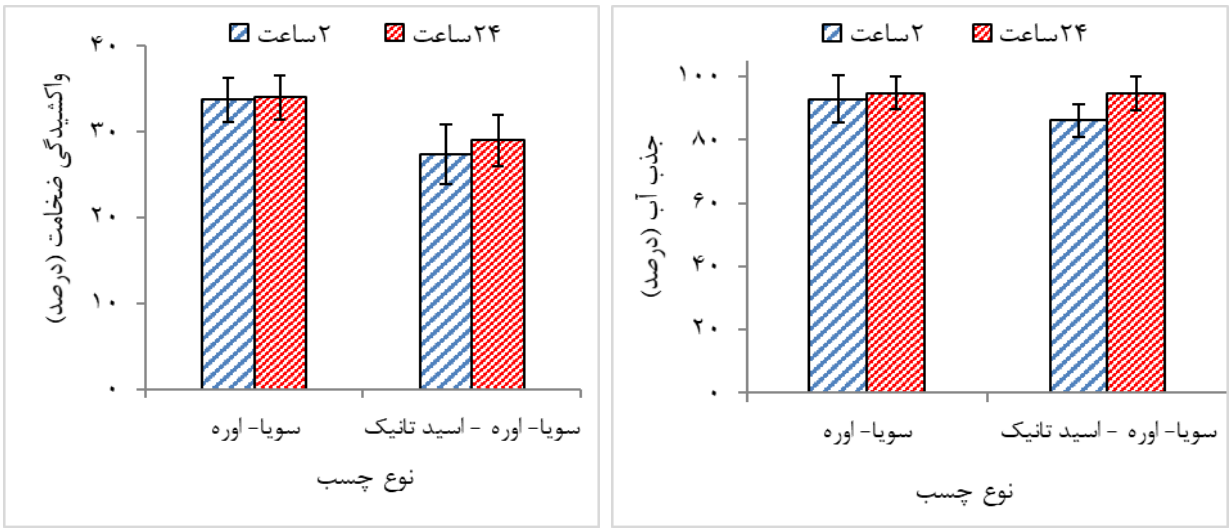
مقدار چسبندگی داخلی طبق استاندارد EN ۶۲۲-۵ (۰/۶ N/mm^2) برای تخته فیبرهای با دانسیته متوسط برای استفاده در شرایط خشک، مشاهده می‌گردد که مقادیر چسبندگی داخلی پایین‌تری را نشان می‌دهند؛ اما با توجه به مقادیر به‌دست‌آمده برای تخته فیبرهای ساخته‌شده، این تخته‌ها می‌توانند به‌عنوان فرآورده‌های مرکب بدون انتشار گازفرمالدهید در محل‌هایی که حساسیت بالا با انتشار گاز وجود دارد مورداستفاده قرار گیرند.



شکل ۳- اثر چسب و نسبت الیاف کارتن کهنه بر چسبندگی داخلی؛ OCC: الیاف کارتن کهنه

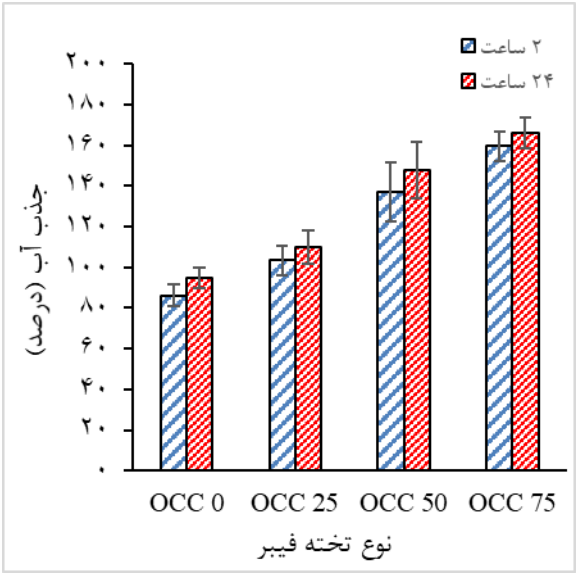
جذب آب و واکشیدگی ضخامت تخته فیبر

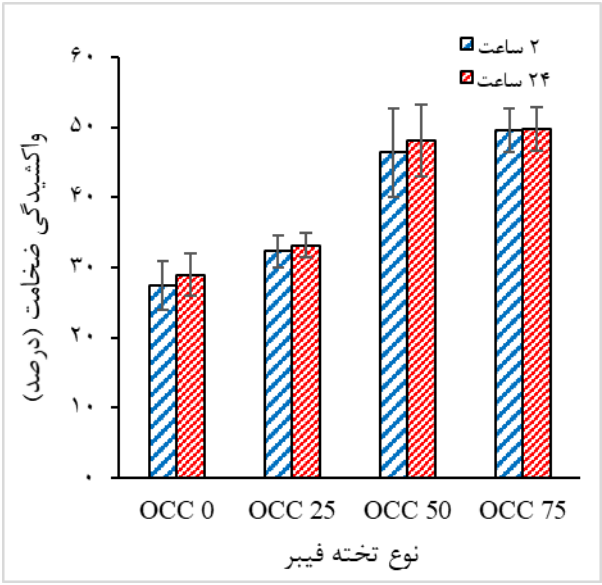
اثر نوع چسب بر مقدار جذب آب و واکشیدگی ضخامت تخته‌های فیبر را پس از ۲ و ۲۴ ساعت غوطه‌وری در آب در شکل ۴ نشان داده‌شده‌اند. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده افزودن اسید تانیک به آرد سویا سبب کاهش جذب آب و واکشیدگی ضخامت در تخته‌های فیبر ساخته‌شده با چسب آرد سویا- اوره- اسید تانیک گردید. این پدیده سبب گردید که مقاومت به آب تخته‌های فیبر ساخته‌شده با چسب آرد سویا- اوره- اسید تانیک بیشتر از نمونه‌های ساخته‌شده با چسب آرد سویا- اوره شود. نتایج مطالعات پیشین درباره میزان جذب آب تخته‌های فیبر ساخته‌شده با چسب سویا نشان‌دهنده بالا بودن جذب آب در آن‌ها است. نتایج پژوهش Li و همکاران (۲۰۰۹) روی تخته‌های ساخته‌شده با پروتئین سویا اصلاح‌شده با سدیم دود سیل سولفات نشان داده بودند که مقدار جذب آب برای تخته فیبرهای ساخته‌شده حدود ۶۵ درصد است [۲۰].



شکل ۴- اثر نوع چسب برجذب آب و واکشیدگی ضخامت تخته فیبر

شکل ۵ میزان جذب آب و واکشیدگی ضخامت تخته‌های فیبر ساخته‌شده از ۱۰۰ درصد الیاف چوبی و نسبت‌های مختلف ترکیب الیاف کاغذ کارتن کهنه و الیاف چوب را نشان می‌دهد. نتایج نشان دادند که تخته فیبر ساخته‌شده با الیاف چوبی در مقایسه با استاندارد ۵-۶۲۲ EN برای شرایط خشک از مقدار واکشیدگی ضخامت بیشتری برخوردار هستند (مقدار واکشیدگی ضخامت استاندارد برای تخته فیبرهای شرایط خشک ۱۵ درصد است). هم‌چنین جایگزینی الیاف کارتن کهنه با الیاف چوب سبب افزایش بیشتر جذب آب و پیرو آن افزایش واکشیدگی ضخامت تخته‌ها نسبت به تخته فیبر ساخته‌شده با الیاف چوبی شدند. الیاف کارتن کهنه به دلیل کوچک بودن اندازه ذرات و بالا بودن سطح ویژه نسبت به الیاف چوب تمایل به جذب آب بالاتری نسبت به الیاف چوبی دارند. به همین دلیل افزودن این الیاف به ترکیب الیاف چوبی سبب افزایش جذب آب و واکشیدگی ضخامت در تخته فیبر ساخته‌شده از ترکیب الیاف گردید.





شکل ۵- جذب آب و واکشیدگی ضخامت تخته فیبر با نسبت‌های ۰، ۲۵، ۵۰ و ۷۵ درصد الیاف کارتن کهنه؛ OCC: الیاف کارتن کهنه

نتیجه‌گیری

طیف‌سنجی FTIR احتمال برقراری پیوندهای شیمیایی بین تانن و سویا را نشان داد. استفاده از اسید تانیک در ترکیب چسب آرد سویا سبب گردید تا ویژگی‌های مقاومتی تخته فیبر؛ مانند مدول الاستیسیته، مدول گسیختگی و چسبندگی داخلی در چندسازه‌های فیبری افزایش یابند. هم‌چنین نتایج نشان دادند که افزایش نسبت استفاده از الیاف کارتن کهنه همراه با الیاف چوبی سبب کاهش مقاومت خمشی و مدول الاستیسیته در چندسازه فیبری شدند. در بین نسبت‌های مختلف استفاده از الیاف کارتن کهنه، نسبت ۷۵ درصد الیاف چوبی و ۲۵ درصد الیاف کارتن کهنه بیشترین مقاومت خمشی و مدول الاستیسیته را در چندسازه فیبری ایجاد کردند. هم‌چنین نتایج نشان دادند که افزودن اسید تانیک به ترکیب چسب آرد سویا- اوره سبب کاهش جذب آب و واکشیدگی ضخامت و درنتیجه افزایش مقاومت تخته‌های فیبر در برابر آب شد. با توجه به استانداردهای موجود برای ارزیابی تخته فیبرها، نتایج نشان دادند که هنوز ویژگی‌های مقاومتی تخته فیبر تولیدشده با چسب سویا و الیاف کارتن کهنه پایین‌تر از حد استاندارد است و نیاز به بهینه‌سازی و اصلاح ویژگی‌ها وجود دارد؛ اما با توجه به اینکه خواص به‌دست‌آمده از آزمایش‌های فیزیکی و مکانیکی انجام‌شده مربوط به تخته خام می‌باشند، بنابراین با انجام فرآیند روکش زنی می‌توان تا حدودی مقادیر به‌دست‌آمده را بهبود بخشید و از این فرآورده در محل‌های حساس به انتشار گاز فرمالدهید مانند اتاق کودک و مراکز درمانی و بهداشتی استفاده نمود. ولی هم چنان به مطالعات بیشتر و بهینه‌سازی شرایط تولید و کیفیت این نوع از فرآورده‌های چوبی سبز نیاز است.

منابع

[1] Guo, J.W., Wang, Y., Quan, W., Wen, M., 2011. Effects of Slushing Process on the Pore Structure and Crystallinity in Old Corrugated Container Cellulose Fiber. Carbohydrate Polymers, 83 (1): 1–7.

[2] Krzysik, A., Youngquist, JA., Rowell, RM., Muehl, JH., Chow, P., Shook, SR., 1993. Feasibility of Using Recycled Newspapers as a Fiber Source for Dry-Process Hardboards. Forest Product Journal, 43 (7):53–58.

[3] Lykidis, C., Parnavela, C., Goulounis, N., Grigoriou, A., 2012. Potential for Utilizing Waste Corrugated Paper Containers Into Wood Composites Using UF and PMDI Resin Systems. Europian Journal of Wood Product, 70 (4): 781-789.

[4] Nourbakhsh, A., Ashori, A., Jahan-Latibari, A., 2010. Evaluation of the Physical and Mechanical Properties of Medium Density Fiberboard Made from Old Newsprint Fibers. Journal of Reinforced Plastics and Composites, 29 (1): 5-11.

[5] Hunt, J., Vick, CB., 1999. Strength and Processing Properties of Wet-Formed Hardboards from Recycled Corrugated Containers and Commercial Hardboard Fibers. Forest Products Journal, 49 (5): 69-74.

[6] Hunt, JF., Jane O'Dell, J., Turk, C., 2008. Fiberboard bending properties as a function of density, thickness, resin, and moisture content. Holzforschung, 62: 569–576.

[7] Kruse, KV., 1995. Recycling old corrugated containers as furnish for wet process hardboard. Forest Product Journal, 45:82–84.

[8] Suchsland, O., Hiziroglu, S., Sean, T., Iyengar, G., 1998. Laboratory experiments on the use of recycled newsprint in wood composites. Forest Product Journal, 48:55–64.

[9] Hwang, CY., Hse, CR., Shupe, TF., 2005. Effects of recycled fiber on the properties of fiberboard panels. Forest Product Journal, 55(11):61-64.

[10] Ghahri, S., Bari, E., Pizzi, A., 2021. The Challenge of Environment-Friendly Adhesives for Bio-Composites. In: Jawaid M., Khan T.A., Nasir M., Asim M. (eds) Eco-Friendly Adhesives for Wood and Natural Fiber Composites. Composites Science and Technology. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-33-4749-6_11

[11] Taghiyari, HR., Hosseini, SB., Ghahri, S., Ghofrani, M., Papadopoulos, AN., 2020. Formaldehyde Emission in Micron-Sized Wollastonite-Treated Plywood Bonded with Soy Flour and Urea-Formaldehyde Resin. *Applied Sciences*, *10*, 6709. https://doi.org/10.3390/app10196709

[12] Ghahri, S., Mohebby, B., Mirshokraie, S., Mansouri, H., 2016. The Effect of Soy-Flour Mesh Size and its Adhesive Acidity Changes on Shear Strength of Plywood. *Iranian Journal of Wood and Paper Industries*, 7(3): 377-386.

[13] Cheng, E., Sun, X., Karr, GS., 2004. Adhesive Properties of Modified Soybean Flour in Wheat Straw Particleboard. Composites: Part A, 35 (3): 297–302.

[14] Ghahri, S., Mohebby, B., Pizzi, A., Mirshokraie, A., Mansouri, H. 2017. Use of Soy Flour-Tannin Adhesive for Particleboard (Dry Condition). *Iranian Journal of Wood and Paper Industries*, 8(1): 131-143.

[15] Ghahri, S., Pizzi A., Mohebby, B., Mirshokraie A., Mansouri HM. 2018. Soy-Based, Tannin-Modified Plywood Adhesives. Journal of Adhesion, 94(3): 218–237, DOI:10.1080/00218464.2016.1258310

[16] Ghahri, S., Chen, X., Pizzi, A., Hajihassani, R., Papadopoulos, AN., 2021. Natural Tannins as New Cross-Linking Materials for Soy-Based Adhesives. *Polymers*, 13(4): 595. https://doi.org/10.3390/polym13040595

[17] Ghahri, S., Mohebby, B., Pizzi A., Mirshokraie A., Mansouri HM., 2018. Improving Water Resistance of Soy-Based Adhesive by Vegetable Tannin. Journal of Polymers and the Environment, 26: 1881-1890, DOI: 10.1007/s10924-017-1090-6

[18] Ghahri, S., Pizzi, A., 2018. Improving Soy-Based Adhesives for Wood Particleboard by Tannins Addition. Wood Science and Technology, 52: 261–279, DOI: 10.1007/s00226-017-0957-y

[19] Fabre, S., Pinaud, N., Fouquet, E., Pianet, I., 2010. Colloidal behavior of wine galloylated tannins. Comptes Rendus Chimie, 13: 561–565.

[20] Li, X., Li, Y., Zhong, Z., Wang, D., Ratto, JA., Sheng, K., Sun, XS., 2009. Mechanical and water soaking properties of medium density fiberboard with wood fiber and soybean protein adhesive. Bioresource Technology, 100 (14): 3556–3562.

Use of Modified Soy Adhesive for Manufacturing Fiberboard from Wood and OCC Fiber

Abstract

Due to the environmental problems of formaldehyde gas emission, governments, manufacturers and scientific societies are looking for a solution to replace urea-formaldehyde adhesive by non-formaldehyde one for wood composites. So, this research was conducted on the feasibility of using old corrugated container fibers and tannin improved soy flour-based adhesive in green fiberboard production. For this reason, Tannic acid (as hydrolysable tannin) by 10 wt% was used as a modifier for soy adhesive and old corrugated container fibers were used in 0, 25, 50 and, 75 wt% based on the dry weight. The results of FTIR showed the chemical bonding between tannin ingredient and soy amino acids by forming a possible covalent bond. Also, the results showed that the physical and mechanical properties of manufactured raw fiberboard did not meet the EN 622-5 standard. Moreover, results indicated that this type of fiberboard needs more investigation, especially in the dry process. These manufactured boards have good potential to be used as a core material in wall and roof sandwich panels without any formaldehyde emission but more improvements are needed in physical and mechanical properties.

Keywords: Wood-based composites, Recycled fibers, Environment-friendly adhesive, Tannin.

S. Ghahri[1*]
R. Hajihassani[2]

[1] Assistant Prof., Wood and Forest products research division, Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran

Corresponding author:
sghahri@rifr-ac.ir

Received: 2021/03/02
Accepted: 2021/08/26