

ارزیابی عملکرد چسب اصلاح شده آرد کلزا در ساخت تخته لایه

چکیده

هدف از این تحقیق، ارزیابی عملکرد چسب اصلاح شده آرد کلزا در ساخت تخته لایه بود. به همین منظور، ابتدا آرد کلزا با هیدروکسید سدیم و اوره/هیدروکسید سدیم به طور جداگانه اصلاح شد. سپس به منظور ایجاد اتصالات عرضی بین مولکول‌های پروتئین، درصد‌های مختلفی از ایزوسیانات (۵، ۱۵ و ۳۰٪) بر مبنای وزن خشک آرد کلزا به دوغاب حاصل اضافه گردید. نتایج نشان داد، با افزایش قلیا و اوره به چسب آرد کلزا، مقاومت برشی خشک آزمون‌ها در مقایسه با چسب اصلاح نشده به طور معنی داری افزایش یافت. افزایش میزان ایزوسیانات در چسب‌ها نیز سبب بهبود بیش تر این ویژگی شد. در این تحقیق، مقاومت برشی خشک همه چسب‌های اصلاح شده کلزا بیش از حد استاندارد EN-314-2 بود. هم‌چنین، اصلاح شیمیایی چسب‌ها سبب بهبود مقاومت به آب آن‌ها گردید، به نحوی که برخی از آن‌ها در توالی‌های غوطه‌وری/خشک کردن رفتاری مشابه یا نزدیک به چسب اوره فرم آلدئید از خود نشان دادند.

واژگان کلیدی: چسب آرد کلزا، مقاومت برشی، مقاومت به آب، اوره فرم آلدئید.

مهسا برزگر^۱

ربیع بهروز^{۲*}

حمیدرضا منصور^۳

سعید کاظمی نجفی^۴

^۱ دانشجوی دکتری علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس، نور، ایران

^۲ دانشیار گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس، نور، ایران

^۳ دانشیار گروه صنایع چوب، دانشگاه زابل، زابل، ایران

^۴ استاد گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس، نور، ایران

مسئول مکاتبات:

rabi.behrooz@modares.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۲/۲۴

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۵/۱۳

مقدمه

استفاده از چسب‌ها در ساخت وسازهای بشر محدود به قرون اخیر نیست و حتی انسان‌های اولیه هم برای چسباندن سنگ‌ها از خاک و گل رس استفاده می‌کردند. پس نقش چسب و چسبندگی از ابتدا در زندگی بشر مهم و پررنگ بوده است. در گذشته برای تولید چسب‌سازهای چوبی از چسب‌های گیاهی و حیوانی استفاده می‌کردند، اما با توجه به ضعف این نوع چسب‌ها در مقابل آب و مقاومت کم آن‌ها [۱]، استفاده از چسب‌ها بر پایه منابع فسیلی شامل چسب‌های پایه فرم آلدئیدی [۲] مانند اوره فرم آلدئید، فنل فرم آلدئید و ملامین فرم آلدئید و

ایزوسیانات‌ها طی نیم قرن اخیر به شدت توسعه یافت. با توجه به محدودیت منابع نفتی و کاهش عرضه آن و نگرانی در مورد استفاده این نوع چسب‌ها به واسطه انتشار گاز فرم آلدئید آزاد در هنگام تولید و مصرف چسب‌سازهای چوبی، محققین به دنبال جایگزین مناسبی برای نفت به عنوان ماده اولیه جهت تولید فرآورده‌های مختلف از جمله چسب‌ها هستند [۳]. در واقع فرآورده‌های چوبی حاصل از چسب‌های فرم آلدئیدی به واسطه هیدرولیز اتصالات متیلن اتری در مواجهه با رطوبت و حرارت در طول زمان به آرامی فرم آلدئید منتشر می‌کنند. تماس با این گاز حتی در مقادیر بسیار کم در درازمدت

چسب انجام شده است. به طور مثال، Li و همکاران (۲۰۱۲) چسب پروتئینی اصلاح نشده کلزا و اصلاح شده با بی سولفیت سدیم را مورد بررسی قرار دادند. میزان اسیدیتته چسب ۳/۵، ۵/۵ و ۷/۵ بوده است. نتایج نشان داد، مقاومت برشی خشک و مقاومت برشی تر در اسیدیتته پایین بهبود یافته بود. بی سولفیت سدیم اثر معنی داری بر عملکرد پروتئین کلزا نداشت اما به طور قابل ملاحظه‌ای قابلیت جریان پذیری چسب کلزا را بهبود بخشید [۹]. هم‌چنین در پژوهشی دیگر، Li و همکاران (۲۰۱۲) به مطالعه ویژگی‌های چسبندگی پروتئین کلزا اصلاح شده با غلظت‌های مختلف بی سولفیت سدیم (۱۵-۰ گرم بر لیتر) پرداختند. نتایج این تحقیق نیز اثر ضعیف تیمار بی سولفیت سدیم را بر چسبندگی پروتئین کلزا تأیید نمود. بیش‌ترین مقاومت برشی تر چسب اصلاح نشده پروتئین کلزا ۳/۹۷ مگاپاسکال بوده است [۱۰].

استخراج پروتئین از گیاهان فرایندی هزینه‌بر و زمان‌بر است و استفاده از آرد کلزا می‌تواند سبب کاهش قابل ملاحظه هزینه چسب تهیه شده گردد. از طرفی دیگر آرد کلزا مانند آرد سویا آب‌دوست است و مقاومت به آب و چسبندگی پایینی دارد و باید اصلاح شود. لذا در این تحقیق، ضمن این که برای اولین بار استفاده از آرد کلزا در تهیه چسب‌های مورد استفاده در صنعت چندسازه‌های چوبی مورد توجه قرار گرفته است، هم‌زمان سعی شده است تا با استفاده از روش‌های اصلاحی مختلف مقاومت به چسبندگی را در چسب‌های حاصل بهبود بخشد، به طوری که بتوانند با چسب اوره فرم آلدهید مورد استفاده در صنعت تخته لایه رقابت کند. به منظور کاهش وزن مولکولی پروتئین، ابتدا آرد کلزا با هیدروکسید سدیم و اوره/هیدروکسید سدیم اصلاح شده، سپس به منظور تشکیل اتصالات عرضی درصدهای مختلفی از ایزوسیانات به دوغاب اضافه گردید.

مواد و روش‌ها

مواد

کنجاله کلزا که محصول به دست آمده از روغن‌کشی دانه کلزا است، از کارخانه بهپاک بهشهر تهیه گردید. هیدروکسید سدیم و اوره از شرکت سیگما آلدریچ

سبب ایجاد بیماری‌های خطرناکی از جمله انواع سرطان در انسان می‌گردد [۴]. به منظور کاهش آلودگی ناشی از انتشار گاز فرم آلدهید^۱ در منازل و سایر مکان‌ها، حذف یا محدود کردن منابع انتشار آن مؤثرترین راهکار است. بنابراین در سال‌های اخیر، با توجه به کمبود منابع فسیلی [۲] و با توجه به مشکلات زیست‌محیطی چسب‌های فرم آلدهیدی و وضع قوانین و استانداردهای مربوط به انتشار آن در کشورها، تحقیق و توسعه در مورد استفاده و توسعه کاربرد چسب‌های طبیعی^۲ در تولید چندسازه‌های چوبی به یک ضرورت تبدیل شده است. منابع تولید چسب‌های طبیعی به طور عمده نشاسته، لیگنین، گندم، تانن، آرد ذرت، پروتئین حیوانی مانند آلبومین خون، کازوئین شیر و پروتئین‌های گیاهی مانند سویا و کلزا هستند [۲ و ۴]. این منابع تجدیدشونده، غیرسمی و ارزان قیمت هستند [۵]. چسب‌های پروتئینی به علت داشتن گروه‌های هیدروکسیل، جذب آب بالایی دارند [۵]. بنابراین آب‌دوستی این پروتئین‌ها سبب مقاومت کم این چسب‌ها در برابر آب می‌شود. به همین علت، نیاز به اصلاح در این نوع چسب‌ها یک ضرورت است تا مقاومت به آب و چسبندگی آن‌ها را افزایش دهد. روش‌های مختلفی به منظور اصلاح چسب‌های پروتئینی مورد توجه محققین قرار گرفته است. از جمله این روش‌ها شامل تیمارهای تغییردهنده ماهیت شیمیایی پروتئین است [۶]. هم‌چنین تیمارهای ایجادکننده اتصالات عرضی توسط برخی از محققین مورد توجه قرار گرفت [۴]. تیمارهای ترکیبی با دیگر پلیمرهای طبیعی یا رزین‌های مصنوعی نیز از جمله اصلاحات انجام شده هستند [۳]. اصلاح با نانو مواد تقویت‌کننده [۷] و اصلاح آنزیمی از دیگر مواردی است که می‌توان نام برد [۸].

کلزا بعد از سویا مهم‌ترین پروتئین تجاری جهان است. مواد تشکیل‌دهنده دانه کلزا شامل ۴۳ درصد وزنی روغن، ۳۵ درصد وزنی پروتئین، ۲۰ درصد وزنی کربوهیدرات، ۱ درصد وزنی خاکستر و مواد معدنی و حدود ۱ درصد وزنی سایر مواد است. طی چند سال اخیر تحقیقات اندکی در مورد استخراج پروتئین کلزا و استفاده از آن در ساخت

¹ Formaldehyde emission

² Bioadhesives

تعیین درصد ماده جامد و گرانیوی چسب

درصد ماده جامد چسب یکی از عوامل مهم در ساخت چسبها محسوب می‌شود که در این تحقیق بر اساس روش آون-خشک تعیین شد. بدین منظور، حدود ۳ گرم چسب تر داخل آون با دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد قرار گرفته تا وزن آن ثابت شود [۱۳]. درصد ماده جامد چسب بر اساس رابطه ۱ محاسبه شد که در این پژوهش برای کلیه چسب‌های موردبررسی ۲۵ درصد بر مبنای وزن خشک آرد کلزا بوده است.

$$(1) \text{ درصد ماده جامد چسب} = 100 \times \frac{\text{وزن محلول چسب (گرم)}}{\text{وزن خشک چسب (گرم)}}$$

در این تحقیق، گرانیوی چسب‌های کلزا که با استفاده از دستگاه ویسکومتر Brookfield مدل RVDVE و با سرعت ۱۰ دور دقیقه اندازه‌گیری شده است، در دامنه ۴۰۰۰-۲۰۰۰۰ سانتی‌پواز قرار داشت. افزایش میزان ایزوسیانات با افزایش گرانیوی چسب همراه بوده است. لازم به ذکر است، گرانیوی زیاد چسب‌های پروتئینی به علت درشت بودن مولکول‌های پروتئین بوده است.

ارزیابی مقاومت برشی چسب

در این تحقیق پیش از به‌کارگیری چسب‌های سنتز شده در ساخت تخته لایه، از دستگاه ABES^۲ (سیستم ارزیابی خودکار چسبندگی) برای ارزیابی مقاومت برشی خشک و تر چسبها استفاده گردید. درواقع این دستگاه پیش‌آزمون مناسبی برای بررسی مقاومت برشی چسب‌های سنتز شده است تا بر اساس نتایج آن چسب انتخاب شده و در ساخت تخته لایه مورداستفاده قرار گیرد. بدین منظور، ابتدا با کمک دستگاه مخصوص تهیه نمونه ABES، نمونه چوب‌هایی به ابعاد ۱۱/۷×۲ سانتی‌متر تهیه شد. سپس در قسمت انتهایی یک نمونه چوب فاصله پنج میلی‌متری جدا شد^۳ تا چسب در این منطقه توزیع گردد. بعد از قرارگیری نمونه چوب دیگر در محل چسب زنی شده، نمونه داخل دستگاه ABES قرار گرفت [۱۴]. در این پژوهش میزان مصرف چسب ۸ میلی‌گرم، زمان

(آمریکا)، ایزوسیانات^۱ از شرکت Huntsman (آمریکا) و اوره فرم آلدهید از شرکت Hexion (آمریکا) تهیه گردید.

آماده‌سازی آرد کلزا و تعیین پروتئین موجود در آرد کلزا

ابتدا کنجاله کلزا آسیاب شده و پس از عبور از الک با مش ۱۴۰، در کیسه‌های آلومینیومی بسته‌بندی و در محیطی خنک نگهداری شد. برای تعیین میزان پروتئین موجود در آرد کلزا از روش کجلدال استفاده شد [۱۱]. کجلدال مورداستفاده FOSS (Kjeltec Analyzer Unit) ساخت کشور سوئد بوده است. در این روش آرد کلزا به همراه کاتالیزور وینینگر و اسیدسولفوریک به داخل لوله هضم انتقال داده شد، سپس لوله هضم داخل دایجستر قرار گرفت و تا دمای ۴۲۰ درجه سانتی‌گراد حرارت دهی گردید. مدت‌زمان فرآیند هضم سه ساعت به طول انجامید. سپس، لوله‌های آزمایشگاهی حاوی نمونه‌های هضم شده داخل دستگاه کجلدال قرار گرفت. میزان پروتئین اندازه‌گیری شده آرد کلزا حدود ۳۵ درصد بوده است.

ساخت چسب آرد کلزا و اصلاح شیمیایی آن

ابتدا آرد کلزا موجود در بسته‌های آلومینیومی، داخل ظرفی در بسته ریخته شد تا رطوبت آن‌ها یکنواخت شود. سپس، بر اساس فرمولاسیون‌های موردنظر چسب‌های کلزا تهیه شد. برای این منظور ابتدا آرد کلزا با آب مقطر و اوره ۳/۲ نرمال به‌طور جداگانه با نسبت ۲۵ درصد وزن خشک آرد کلزا به مدت ۳۰ دقیقه با همزن IKA (Euro-ST 40 D 8001) با سرعت ۶۰۰ دور در دقیقه و در دمای اتاق هم زده شد تا دوغاب یکنواختی به دست آید [۱۲]. سپس، محلول سود ۱۰ نرمال به دوغاب حاصل اضافه گردید تا اسیدیته ۷ به دست آید. لازم به ذکر است، اسیدیته چسب کلزا در ابتدا ۵/۵ بوده است. ایزوسیانات با درصدهای ۵، ۱۵ و ۳۰ درصد بر مبنای وزن خشک آرد کلزا در دمای اتاق و به‌طور جداگانه به دوغاب حاصل از آب مقطر و محلول اوره اضافه گردید. سپس به مدت چند دقیقه هم زده شد تا چسب یکنواختی حاصل شود. در این پژوهش چسب آرد کلزا بدون افزون سود و اوره به‌عنوان نمونه شاهد در نظر گرفته شد.

¹ Polymeric diphenylmethane diisocyanate

² Automated Bonding Evaluation System

³ Overlap

میزان مصرف چسب ۲۲۶ گرم بر مترمربع بر مبنای وزن تر برای هر خط چسب در نظر گرفته شد. همچنین، برای ارزیابی بهتر ویژگی‌های مقاومتی تخته سه لایه‌های ساخته شده با چسب آرد کلزا، تخته سه لایه‌هایی با چسب اوره فرم آلدئید با ۶۵ درصد ماده جامد ساخته شدند. میزان مصرف هاردنر کلرید آمونیوم ۱ درصد و پرکننده آرد گندم ۲۲ درصد بوده است. میزان مصرف چسب ۲۲۶ گرم بر مترمربع بر مبنای وزن تر برای هر خط چسب، دمای پرس ۱۲۰ درجه سانتی‌گراد، فشار پرس ۰/۸۶ مگاپاسکال و زمان پرس ۳ دقیقه در نظر گرفته شد.

مقاومت برشی تخته لایه و محاسبه درصد

شکست در چوب

مقاومت برشی تخته لایه یکی از فاکتورهای مهم در ارزیابی کارایی چسب‌های سنتز شده است که در این پژوهش بر اساس استاندارد (۲۰۰۴) EN-314-1 مورد ارزیابی قرار گرفت [۱۵]. برای هر تیمار ۱۰ نمونه تهیه شد (شکل ۱) و مقاومت برشی آزمونه‌ها با استفاده از دستگاه الکترومکانیکی (MTS Systems MTS Corporation, Eden Prairie, Minnesota, USA) ارزیابی قرار گرفت. سرعت بارگذاری برای انجام مقاومت برشی خشک ۱۱/ اینچ بر دقیقه بوده است.

به منظور ارزیابی مقاومت برشی تر، نیمی از آزمونه‌های برشی تهیه شده به مدت ۲۴ ساعت داخل آب قرار گرفتند، سپس، با کمک دستگاه MTS مقاومت تر آن‌ها اندازه‌گیری شد. لازم به ذکر است، سرعت بارگذاری برای انجام مقاومت برشی تر ۲۲/ اینچ بر دقیقه بوده است.

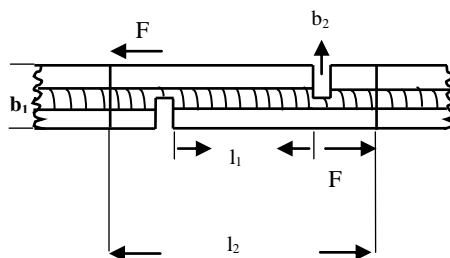
پرس ۱۲۰ ثانیه و فشار پرس ۰/۲ مگاپاسکال در نظر گرفته شد. بعد از زمان موردنظر، نمونه ساخته شده از دستگاه خارج شده و به مدت ۲۴ ساعت در فضای اتاق (دما 20 ± 1) قرار گرفت. بعد از این مدت مقاومت برشی خشک نمونه‌ها مورد اندازه‌گیری قرار گرفت، سپس نیمی از نمونه‌ها به مدت ۴ ساعت داخل آب قرار گرفته و مقاومت برشی تر آن‌ها مورد اندازه‌گیری قرار گرفت. با کمک این دستگاه، فرمولاسیون‌های متعددی از چسب‌ها مورد بررسی قرار گرفت که بر اساس نتایج، بهترین فرمولاسیون‌ها انتخاب و تخته لایه‌ها بر اساس نتایج آن‌ها ساخته شد.

آماده‌سازی لایه‌های چوبی، چسب زنی و ساخت

تخته لایه

لایه‌های چوبی مورد استفاده در این پژوهش، بلوط سفید (*Quercus alba*) با ضخامت ۲/۱ میلی‌متر بود. لایه‌ها به ابعاد 30×30 سانتی‌متر مربع بریده شدند و در اتاق مشروط سازی با دمای ۲۶ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۳۰ درصد قرار گرفتند. سپس، لایه‌های بدون عیب و ترک انتخاب شده و در ساخت تخته سه لایه مورد استفاده قرار گرفتند. رطوبت لایه‌ها پس از مشروط سازی ۶ درصد بوده است.

ابتدا لایه وسط با غلتکی کوچک به صورت یکنواخت چسب زنی شد سپس، لایه‌های اول و سوم به صورت متقاطع در دو طرف آن قرار گرفت. تخته لایه‌های چسب زنی شده به مدت ۱۵ دقیقه زیر صفحه ضخیم فلزی قرار داده شدند تا پرس سرد شوند. سپس، به مدت ۵ دقیقه زیر پرس گرم مدل Carver-۳۸۵۶ قرار گرفتند. فشار پرس ۰/۸۶ مگاپاسکال، دمای پرس ۱۴۵ درجه سانتی‌گراد و



شکل ۱- الگوی برش آزمونه‌های تخته لایه برای آزمون مقاومت برشی مطابق استاندارد EN-314-1.

پهنای شکاف (b_1) = 25 ± 0.5 میلی‌متر، عمق شکاف (b_2) = $2/5$ میلی‌متر، فاصله دو شکاف (l_1) = ۲۵ میلی‌متر، طول دهانه (l_2) = ۵۰ میلی‌متر

گروه‌بندی دانکن در سطح اطمینان ۹۵ درصد انجام شد.

نتایج و بحث

نتایج ارزیابی مقاومت برشی چسب

نتایج ارزیابی مقاومت برشی چسب‌های سنتز شده کلزا با استفاده از دستگاه ABES در جدول ۱ نشان داده شده است. با مشاهده نتایج می‌توان دریافت، با افزایش میزان ایزوسیانات در چسب‌های سنتز شده کلزا هم مقاومت برشی خشک و هم مقاومت برشی تر آزمون‌ها افزایش یافته است. هم‌چنین نتایج نشان داد، آزمون‌های حاصل از چسب‌های کلزا اصلاح‌شده با هیدروکسید سدیم مقاومت برشی بیش‌تری نسبت به آزمون‌های حاصل از چسب‌های کلزا اصلاح شده با اوره/هیدروکسید سدیم داشتند. همان‌طور که قبلاً هم بیان شد، ساخت نمونه با دستگاه ABES و ارزیابی مقاومت برشی با کمک آن پیش‌آزمون مناسبی برای بررسی مقاومت برشی چسب‌های جدید سنتز شده و در نتیجه تأیید آن برای ساخت تخته لایه است. در واقع این آزمون، قدرت چسبندگی بین مولکول‌های چسب^۲ را نشان می‌دهد، به همین علت نتایج مقاومت برشی حاصل از این آزمون معمولاً بیش‌تر از نتایج مقاومت برشی حاصل از آزمون تخته لایه است. در این تحقیق با توجه به نتایج مطلوب آزمون ABES، چسب‌های اصلاح شده کلزا در ساخت تخته لایه مورد استفاده قرار گرفتند.

محاسبه درصد شکست در چوب در محل برش بین لایه‌ها در آزمون مقاومت برشی خشک تخته لایه‌ها بر اساس استاندارد (۲۰۰۴) EN-314-1 انجام شد [۱۵]. مطابق این استاندارد الگوهایی برای تعیین درصد شکست در چوب از صفر تا صد درصد وجود داشت که در این تحقیق با مشاهده چشمی الگوهای استاندارد موجود در آزمایشگاه درصد شکست در چوب تعیین گردید.

مقاومت به آب تخته‌لایه‌ها و تجزیه و تحلیل آماری

در این پژوهش مقاومت به آب تخته لایه‌ها بر اساس استاندارد (۲۰۰۰) ANSI/HPVA HP-1 اندازه‌گیری شد. هدف از این آزمون تعیین مقاومت تخته‌ها به لایه‌ای شدن طی توالی‌های غوطه‌وری/خشک کردن است. در واقع این آزمون قدرت چسب و چسبندگی را در محیط مرطوب نشان می‌دهد. برای هر فرمول چسب تعداد هجده آزمون به ابعاد ۱۲/۷×۵/۰۸ سانتی‌متر از تخته سه لایه‌ها تهیه شد که به مدت ۴ ساعت در آب با دمای ۲۴±۳ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند، سپس آزمون‌ها از آب خارج شده و به مدت ۱۹ ساعت داخل آون با دمای ۴۹-۵۲ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند. توالی غوطه‌وری/خشک کردن سه بار تکرار شد [۱۶]. در پایان تعداد نمونه‌های لایه‌ای شده شمارش و گزارش شد.

تجزیه و تحلیل آماری نتایج با استفاده از آزمون تجزیه واریانس یک‌طرفه^۱ و مقایسه میانگین‌ها بر اساس

جدول ۱- نتایج ارزیابی مقاومت برشی خشک و تر حاصل از آزمون ABES

نوع چسب	مقاومت برشی خشک (مگاپاسکال)	مقاومت برشی تر (مگاپاسکال)
	دما: ۱۴۵ (درجه سانتی‌گراد)	دما: ۱۴۵ (درجه سانتی‌گراد)
چسب کلزا اصلاح‌شده با هیدروکسید سدیم	۵/۳	۰/۹۳
چسب کلزا اصلاح‌شده با هیدروکسید سدیم + ۰/۵ ایزوسیانات	۵/۸	۱/۲
چسب کلزا اصلاح‌شده با هیدروکسید سدیم + ۱/۵ ایزوسیانات	۶/۱	۱/۵
چسب کلزا اصلاح‌شده با هیدروکسید سدیم + ۳۰٪ ایزوسیانات	۶/۵	۲
چسب کلزا اصلاح‌شده با اوره/هیدروکسید سدیم	۴/۸۷	۰/۸
چسب کلزا اصلاح‌شده با اوره/هیدروکسید سدیم + ۰/۵ ایزوسیانات	۵/۶	۱
چسب کلزا اصلاح‌شده با اوره/هیدروکسید سدیم + ۱/۵ ایزوسیانات	۶	۱/۴۶
چسب کلزا اصلاح‌شده با اوره/هیدروکسید سدیم + ۳۰٪ ایزوسیانات	۶/۲	۱/۹
چسب کلزا اصلاح‌نشده	۴/۶	۰/۱۶

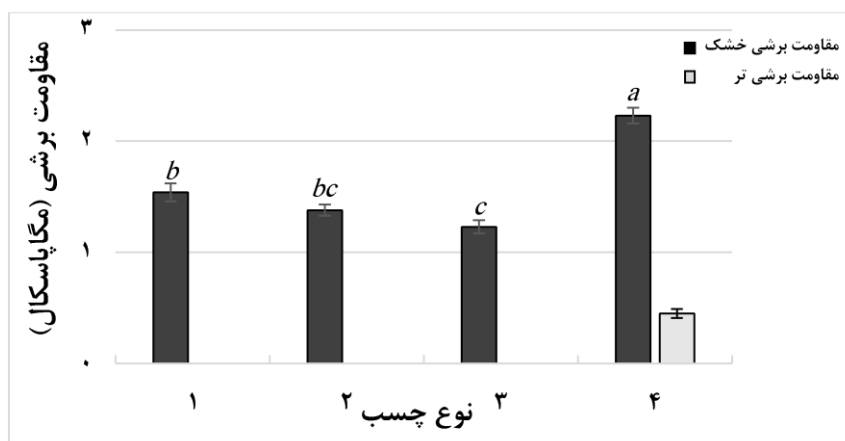
^۱ One way ANOVA

^۲ Cohesion

پروتئین را تخریب و ساختار پروتئین را باز می‌کند، در نتیجه گروه‌های عاملی ایجاد شده با یکدیگر واکنش داده و زنجیره‌های پپتیدی جدیدی را تشکیل می‌دهند که این امر سبب بهبود مقاومت چسبندگی چسب می‌شود [۱۷]. هرچند، مقداری آنزیم اوره‌آز^۳ در آرد وجود دارد که می‌تواند نرخ هیدرولیز اوره به دی‌اکسید کربن و آمونوم را افزایش داده و در نتیجه اثر اصلاح اوره را کم کند [۱۸]. بعلاوه، تجزیه اوره تحت حرارت پرس نیز در کاهش اثر اصلاحی با اوره مؤثر است [۱۹]. به همین علت، آزمون‌های حاصل از چسب‌های اصلاح‌شده با هیدروکسید سدیم مقاومت برشی خشک بیش‌تری نسبت به اوره/هیدروکسید سدیم داشتند. بر اساس نتایج شکل ۳ می‌توان دریافت، گرچه مقاومت برشی خشک آزمون‌های حاصل از چسب‌های کلزا اصلاح‌شده با هیدروکسید سدیم و اوره/هیدروکسید سدیم نسبت به مقاومت برشی خشک آزمون‌های حاصل از چسب اوره فرم آلدئید کم‌تر بوده‌اند اما نیاز استاندارد EN-314-2 را تأمین کردند. هم‌چنین نتایج نشان داد، آزمون‌های حاصل از چسب‌های کلزا اصلاح‌شده و اصلاح‌نشده در حالت تر مقاومت برشی نداشتند، اما آزمون حاصل از چسب اوره فرم آلدئید در حالت تر مقاومت برشی حدوداً ۴۵٪ مگاپاسکال داشته که مورد تأیید استاندارد EN-314-2 نبود.

اثر اصلاح هیدروکسید سدیم و اوره/هیدروکسید سدیم بر مقاومت برشی خشک و تر چسب کلزا

اثر اصلاح هیدروکسید سدیم و اوره/هیدروکسید سدیم بر مقاومت برشی خشک و تر چسب کلزا در شکل ۲ نشان داده شده است. نتایج نشان می‌دهد، هر دو تیمار هیدروکسید سدیم و اوره/هیدروکسید سدیم سبب افزایش مقاومت برشی خشک کلزا شده‌اند و اختلاف معنی‌داری را در سطح ۹۵ درصد با چسب شاهد داشتند. آزمون‌های حاصل از چسب کلزا اصلاح‌شده با هیدروکسید سدیم (۱/۵۴ مگاپاسکال) مقاومت برشی خشک بیش‌تری نسبت به چسب اصلاح‌شده با اوره/هیدروکسید سدیم (۱/۳۸ مگاپاسکال) داشت. قلیا سبب تورم مولکول‌های موجود در کلزا شده و این تورم سبب باز شدن^۱ مولکول‌های پروتئین می‌شود. در واقع قلیا پیوندهای هیدروژنی موجود در مولکول پروتئین را شکسته و گروه‌های عاملی بیش‌تری را در دسترس قرار می‌دهد که این موجب افزایش سطح تماس شده [۴] و زنجیره‌های پپتیدی با وزن مولکولی مناسبی را ایجاد کرده که می‌تواند موجب بهبود مقاومت چسبندگی شود [۱۲]. اوره نیز می‌تواند ساختار ثانویه مارپیچی^۲ پروتئین را جدا کند. این ماده پیوندهای هیدروژنی موجود در مولکول



شکل ۲- مقایسه مقاومت برشی خشک و تر آزمون‌های حاصل از چسب‌های اصلاح‌شده و اصلاح‌نشده آرد کلزا

(نوار خطا بیانگر انحراف معیار است)

(۱) اصلاح‌شده با هیدروکسید سدیم، (۲) اصلاح‌شده با اوره/هیدروکسید سدیم، (۳) اصلاح‌نشده (شاهد)، (۴) چسب اوره فرم آلدئید

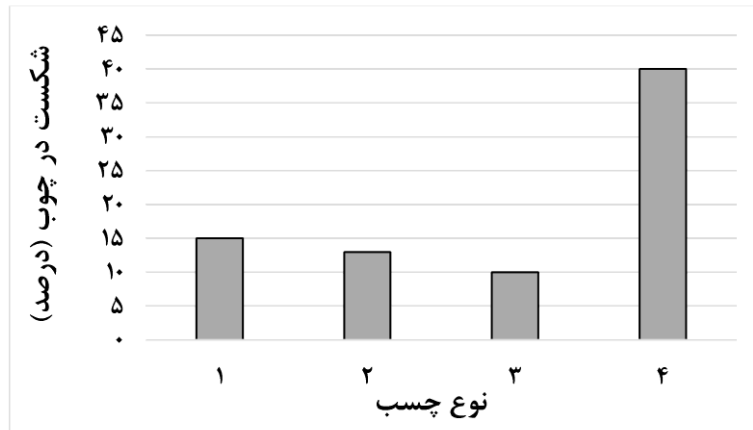
¹ Unfolding

² Helical Second Structure

³ Urease enzyme

چوب باقی مانده موجود در محل شکست لایه‌ی چسب زنی شده در چسب اوره فرم آلدهید بیش تر از چسب‌های کلزا بوده که این نشان دهنده مقاومت بیش تر چسب اوره فرم آلدهید نسبت به چسب اصلاح شده کلزا بوده است.

نتایج درصد شکست در چوب در محل برش بین لایه‌ها در آزمون مقاومت برشی خشک تخته لایه در شکل ۳ نشان داده شده است. با توجه به نتایج می‌توان دریافت، درصد شکست در چوب یا به عبارتی میزان خرده‌های



شکل ۳- مقایسه درصد شکست در چوب آزمون‌های حاصل از چسب‌های اصلاح شده و اصلاح نشده آرد کلزا (۱) اصلاح شده با هیدروکسید سدیم. (۲) اصلاح شده با اوره/هیدروکسید سدیم. (۳) اصلاح نشده (شاهد). (۴) چسب اوره فرم آلدهید

مولکول‌های پروتئین که توسط هیدروکسید سدیم باز شده باعث افزایش وزن مولکولی و چسبندگی می‌شود [۱]. در واقع، برهم‌کنش میان گروه عاملی ایزوسیانات^۱ و پروتئین سبب اتصال و بهبود چسبندگی شود. با توجه به نتایج شکل ۵ می‌توان دریافت، آزمون‌های حاصل از چسب‌های اصلاح شده با هیدروکسید سدیم/ایزوسیانات نیز در آب باز شده و مقاومت برشی نداشتند.

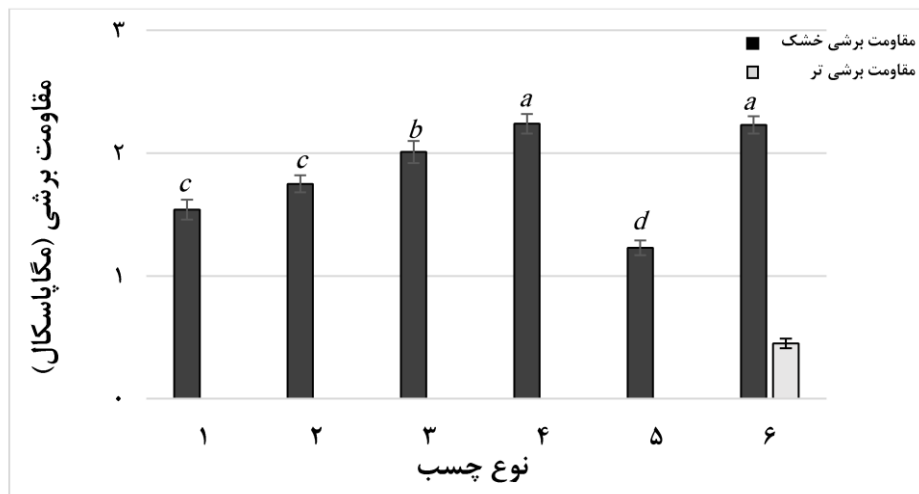
اثر اصلاح هیدروکسید سدیم/ایزوسیانات بر درصد شکست در چوب (حاصل از آزمون مقاومت برشی خشک تخته لایه) چسب‌های کلزا اصلاح شده با این مواد در شکل ۵ نشان داده شده است. نتایج نشان می‌دهد، با افزایش ایزوسیانات در چسب‌های اصلاح شده با هیدروکسید سدیم میزان درصد شکست در چوب نیز افزایش قابل توجهی داشته است. به طوری که در چسب‌های اصلاح شده با ۳۰ درصد ایزوسیانات این مقدار به حدود ۴۰ درصد رسید. این افزایش نشان دهنده مقاومت برشی بیش تر این نوع چسب‌ها نسبت به چسب شاهد بوده است.

اثر اصلاح هیدروکسید سدیم/ایزوسیانات بر مقاومت برشی خشک و تر چسب کلزا

اثر اصلاح هیدروکسید سدیم/ایزوسیانات بر مقاومت برشی خشک و تر چسب کلزا در شکل ۴ نشان داده شده است. نتایج نشان می‌دهد، در مقایسه با چسب شاهد و چسب کلزا اصلاح شده با هیدروکسید سدیم، آزمون‌های حاصل از چسب کلزا اصلاح شده با هیدروکسید سدیم/ایزوسیانات میزان مقاومت برشی خشک بیش تری داشتند که این مقاومت با افزایش میزان ایزوسیانات فزونی داشته و در سطح ۹۵ درصد تفاوت معنی‌داری با چسب شاهد داشت. طبق نتایج آماری، آزمون‌های ساخته شده با چسب اصلاح شده کلزا با هیدروکسید سدیم + ۳۰ درصد ایزوسیانات بالاترین میزان مقاومت برشی (۲/۲۴ مگاپاسکال) و آزمون‌های ساخته شده با چسب اصلاح نشده کلزا (نمونه شاهد) پایین ترین میزان مقاومت برشی (۱/۲۳ مگاپاسکال) را داشتند.

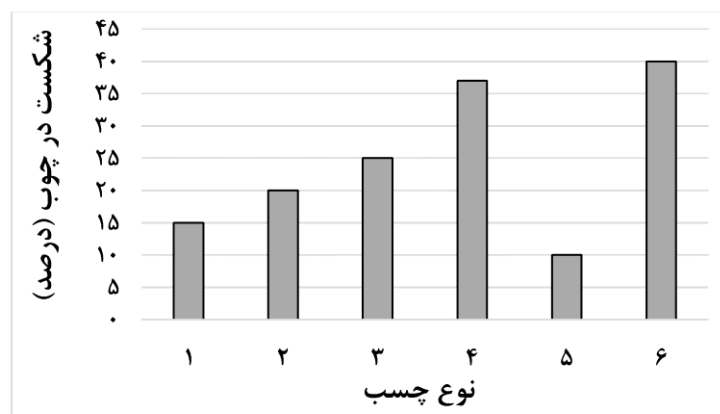
ایزوسیانات یک ماده اتصال دهنده عرضی است که به طور گسترده به عنوان چسب استفاده می‌شود. انتظار بر این است که این چسب با ایجاد اتصالات عرضی بین

^۱ N=C=O



شکل ۴- مقایسه مقاومت برشی خشک و تر آزمونه‌های حاصل از چسب‌های اصلاح‌شده آرد کلزا با هیدروکسید سدیم/ایزوسیانات و چسب شاهد (نوار خطا بیانگر انحراف معیار است)

(۱) اصلاح‌شده با هیدروکسید سدیم. (۲) اصلاح‌شده با هیدروکسید سدیم + ۵٪ ایزوسیانات. (۳) اصلاح‌شده با هیدروکسید سدیم + ۱۵٪ ایزوسیانات. (۴) اصلاح‌شده با هیدروکسید سدیم + ۳۰٪ ایزوسیانات. (۵) اصلاح‌نشده (شاهد). (۶) چسب اوره فرم آلدهید



شکل ۵- مقایسه درصد شکست در چوب آزمونه‌های حاصل از چسب‌های اصلاح‌شده آرد کلزا با هیدروکسید سدیم/ایزوسیانات و چسب شاهد (۱) اصلاح‌شده با هیدروکسید سدیم. (۲) اصلاح‌شده با هیدروکسید سدیم + ۵٪ ایزوسیانات. (۳) اصلاح‌شده با هیدروکسید سدیم + ۱۵٪ ایزوسیانات. (۴) اصلاح‌شده با هیدروکسید سدیم + ۳۰٪ ایزوسیانات. (۵) اصلاح‌نشده (شاهد). (۶) چسب اوره فرم آلدهید

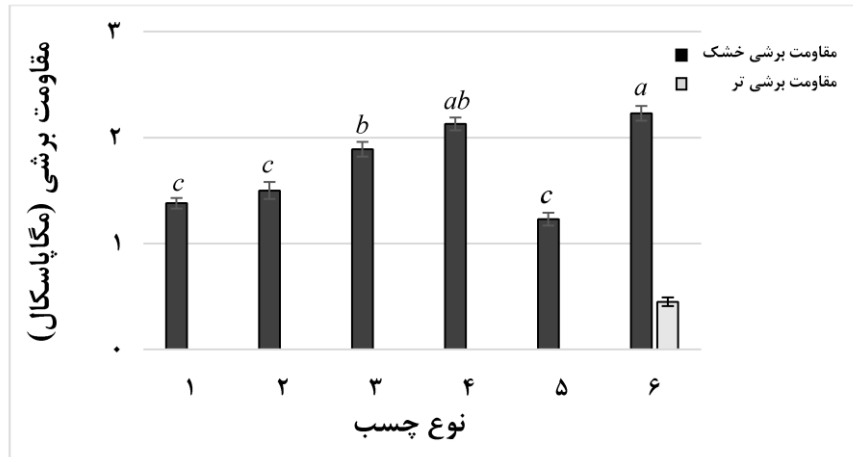
اصلاح‌شده کلزا با اوره/هیدروکسید سدیم + ۳۰ درصد ایزوسیانات بالاترین میزان مقاومت برشی (۲/۱۳) مگاپاسکال) و آزمونه‌های ساخته‌شده با چسب کلزا اصلاح‌نشده (نمونه شاهد) پایین‌ترین میزان مقاومت برشی (۱/۲۳ مگاپاسکال) را داشتند. همان‌طور که قبلاً ذکر شد، انتظار بر این است که این افزایش مقاومت به علت ایجاد اتصالات عرضی توسط گروه‌های عاملی

اثر اصلاح اوره/هیدروکسید سدیم/ایزوسیانات

بر مقاومت برشی خشک و تر چسب کلزا

نتایج شکل ۶ نشان می‌دهد، با افزایش ایزوسیانات به چسب‌های اصلاح‌شده کلزا با اوره/هیدروکسید سدیم میزان مقاومت برشی خشک آزمونه‌ها افزایش یافته است و در سطح ۹۵ درصد تفاوت معنی‌داری نسبت به آزمونه شاهد داشتند. طبق نتایج، آزمونه‌های حاصل از چسب

ایزوسیانات با مولکول‌های باز شده پروتئین باشد [۱].
گرچه، این اتصالات در آب مقاومتی نداشته و همه

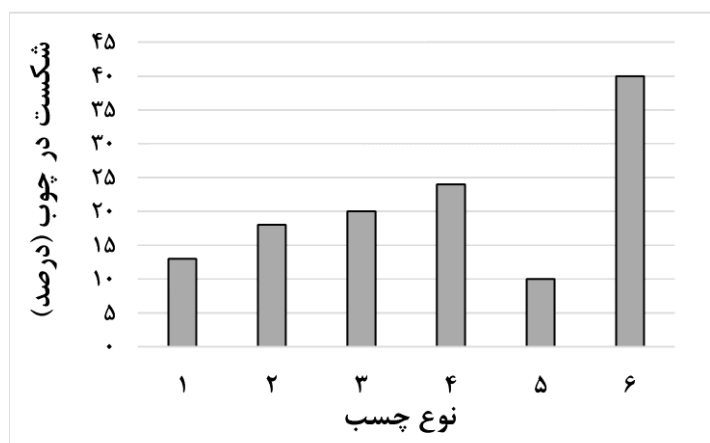


شکل ۶- مقایسه مقاومت برشی خشک و تر آزمون‌های حاصل از چسب‌های اصلاح‌شده کلزا با اوره/هیدروکسید سدیم/ایزوسیانات و چسب شاهد (نوار خطا بیانگر انحراف معیار است)

(۱) اصلاح‌شده با اوره/هیدروکسید سدیم. (۲) اصلاح‌شده با اوره/هیدروکسید سدیم + ۵٪ ایزوسیانات. (۳) اصلاح‌شده با اوره/هیدروکسید سدیم + ۱۵٪ ایزوسیانات. (۴) اصلاح‌شده با اوره/هیدروکسید سدیم + ۳۰٪ ایزوسیانات. (۵) اصلاح‌نشده (شاهد). (۶) چسب اوره فرم آلدهید

ایزوسیانات به چسب اصلاح‌شده کلزا میزان درصد شکست در چوب افزایش یافته است، گرچه در مقایسه با چسب اوره فرم آلدهید این میزان کم‌تر بوده که نشان‌دهنده مقاومت برشی کم‌تر این چسب‌ها در مقایسه با چسب اوره فرم آلدهید بوده است.

اثر اصلاح ترکیبی اوره/هیدروکسید سدیم/ایزوسیانات بر درصد شکست در چوب (حاصل از آزمون مقاومت برشی خشک تخته لایه) چسب کلزا در شکل ۷ نشان داده شده است. با توجه به نتایج می‌توان دریافت، در مقایسه با چسب اوره/هیدروکسید سدیم و چسب شاهد، با افزایش



شکل ۷- مقایسه درصد شکست در چوب آزمون‌های حاصل از چسب‌های اصلاح‌شده آرد کلزا با اوره/هیدروکسید سدیم/ایزوسیانات و چسب شاهد

(۱) اصلاح‌شده با اوره/هیدروکسید سدیم. (۲) اصلاح‌شده با اوره/هیدروکسید سدیم + ۵٪ ایزوسیانات. (۳) اصلاح‌شده با اوره/هیدروکسید سدیم + ۱۵٪ ایزوسیانات. (۴) اصلاح‌شده با اوره/هیدروکسید سدیم + ۳۰٪ ایزوسیانات. (۵) اصلاح‌نشده (شاهد). (۶) چسب اوره فرم آلدهید

مقاومت به آب تخته لایه‌های ساخته‌شده از

چسب‌های کلزا

مقاومت به آب تخته لایه‌های ساخته‌شده با چسب کلزا بر اساس استاندارد ANSI/HPVA HP-1(2000) انجام شده است. این نتایج در جدول ۲ نشان داده شده است. با مشاهده به نتایج می‌توان دریافت، آزمون‌های حاصل از چسب‌های اصلاح‌شده با هیدروکسید سدیم و اوره/هیدروکسید سدیم مقاومت به آب لازم را در دوره اول غوطه‌وری/خشک کردن نداشتند، اما با افزایش ایزوسیانات به چسب‌های اصلاح‌شده، مقاومت به آب چسب‌ها تا حدی بهبود پیدا کرد، به طوری که تعدادی از این آزمون‌ها در دوره اول غوطه‌وری/خشک کردن از هم گسیخته نشده و وارد دوره دوم شدند و رفتاری مشابه یا نزدیک به چسب اوره فرم آلدئید از خود نشان دادند. گرچه، تعدادی از آزمون‌های حاصل از چسب‌های اصلاح‌شده با ایزوسیانات و

اوره فرم آلدئید در دوره اول و یا دوره دوم غوطه‌وری/خشک کردن مقاومت به آب لازم را داشته‌اند اما در پایان دوره سوم غوطه‌وری/خشک کردن همه آزمون‌ها باز شده‌اند. انتظار بر این است کربوهیدرات‌های آب‌دوست (حدوداً ۲۰ درصد) و ترکیبات آب‌دوست موجود در ساختار آرد کلزا سبب جذب آب در آزمون‌های حاصل از چسب کلزا شده‌اند که این جذب آب سبب تخریب چسب بین لایه‌ها و در نتیجه لایه‌لایه شدن^۱ آزمون‌ها شده است. بعلاوه، به علت وجود آب در فرمولاسیون چسب، احتمالاً حباب‌های ریزی در فضای بین لایه‌های چسب زنی شده در زیر پرس گرم ایجاد شده که بعد از تبخیر بخار آب، سبب ایجاد منافذ ریزی در این فضاها شده است، در نتیجه این منافذ هنگام مواجهه با رطوبت، آب را به راحتی جذب کرده و موجب تخریب چسب بین لایه‌ها و در نتیجه لایه‌لایه شدن آزمون‌ها شدند.

جدول ۲- مقاومت به آب تخته لایه‌های ساخته‌شده با چسب‌های کلزا و اوره فرم آلدئید

نوع چسب	دوره اول	دوره دوم	دوره سوم
چسب کلزا اصلاح‌شده با هیدروکسید سدیم	۱۸*	-	-
چسب کلزا اصلاح‌شده با هیدروکسید سدیم + ۵٪ ایزوسیانات	۱۶	۱۸	-
چسب کلزا اصلاح‌شده با هیدروکسید سدیم + ۱۵٪ ایزوسیانات	۱۵	۱۸	-
چسب کلزا اصلاح‌شده با هیدروکسید سدیم + ۳۰٪ ایزوسیانات	۱۳	۱۶	۱۸
چسب کلزا اصلاح‌شده با اوره/هیدروکسید سدیم	۱۸	-	-
چسب کلزا اصلاح‌شده با اوره/هیدروکسید سدیم + ۵٪ ایزوسیانات	۱۵	۱۸	-
چسب کلزا اصلاح‌شده با اوره/هیدروکسید سدیم + ۱۵٪ ایزوسیانات	۱۳	۱۸	-
چسب کلزا اصلاح‌شده با اوره/هیدروکسید سدیم + ۳۰٪ ایزوسیانات	۱۱	۱۸	-
چسب کلزا اصلاح‌نشده	۱۸	-	-
چسب اوره فرم آلدئید	۱۲	۱۶	۱۸

* اعداد جدول نشان‌دهنده تعداد آزمون‌های باز شده مورد آزمایش است. تعداد کل آزمون‌های مورد آزمایش برای هر فرمول ۱۸ عدد بوده است.

نتیجه‌گیری

نتایج این بررسی نشان داد، در مقایسه با چسب شاهد، با افزایش اصلاح‌کننده‌ها به چسب کلزا مقاومت برشی خشک به طور معنی‌داری افزایش یافته است. آزمون‌های حاصل از چسب اصلاح‌شده کلزا با هیدروکسید سدیم مقاومت برشی خشک بیش‌تری نسبت به چسب اصلاح‌شده کلزا با اوره/هیدروکسید سدیم داشت، چون آنزیم اوره‌آز موجود در آرد کلزا نرخ هیدرولیز اوره به

دی اکسیدکربن و آمونیوم را افزایش داده و در نتیجه موجب کاهش اثر اصلاح اوره شده است. هم‌چنین، با افزایش میزان ایزوسیانات به چسب‌های اصلاح‌شده با هیدروکسید سدیم و اوره/هیدروکسید سدیم، میزان مقاومت برشی خشک به طور معنی‌داری افزایش یافت. نتایج نشان داد، میزان مقاومت برشی خشک چسب اوره

^۱ Delamination

استاندارد EN-314-2 بوده‌اند. هم‌چنین، اصلاح شیمیایی چسب‌ها سبب بهبود مقاومت به آب گردید، به نحوی که برخی از چسب‌ها در توالی‌های غوطه‌وری/خشک کردن رفتاری مشابه یا نزدیک به چسب اوره فرم آلدهید از خود نشان دادند.

سیاسگزاری

این تحقیق در آزمایشگاه فراورده‌های جنگلی (FPL)، کشور آمریکا انجام گردید. بدین وسیله از زحمات کلیه پرسنل آزمایشگاه به ویژه آقای دکتر چارلز فریهارت محقق و شیمیدان برجسته این مرکز که ما را در انجام این تحقیق و تجزیه و تحلیل نتایج آن یاری نمودند، قدردانی می‌گردد.

فرم آلدهید نسبت به چسب‌های اصلاح‌شده آرد کلزا به طور معنی‌داری بیش‌تر بوده است، هرچند چسب‌های کلزا اصلاح‌شده با ۳۰ درصد ایزوسیانات مقاومت برشی خشک در حد چسب اوره فرم آلدهید داشته‌اند اما در حالت تر مقاومت برشی نداشته‌اند. نتایج حاصل از ارزیابی مقاومت به آب آزمون‌ها نشان می‌دهد، با افزایش درصد ایزوسیانات به چسب‌های اصلاح‌شده با هیدروکسید سدیم و اوره/هیدروکسید سدیم مقاومت به آب آزمون‌ها بهبود پیدا کرد، به طوری که آزمون‌ها در دوره اول غوطه‌وری/خشک کردن از هم گسیخته نشدند و وارد دوره‌های بعدی غوطه‌وری/خشک کردن شده‌اند. به عنوان نتیجه‌گیری کلی می‌توان بیان کرد، با افزایش میزان ایزوسیانات به چسب‌های اصلاح‌شده کلزا، مقاومت برشی خشک آزمون‌ها به طور معنی‌داری بهبود پیدا کرد و همه چسب‌های اصلاح‌شده دارای مقاومت برشی بیش‌ازحد

منابع

- [1] Zhang, Y., Zhu, W., Lu, Y., Gao, Zh. and Gu, J., 2014. Nano-scale Blocking Mechanism of MMT and its Effects on the Properties of Polyisocyanates-modified Soybean Protein Adhesive. *Industrial Crops and Products*, 57: 35-42.
- [2] Gui, C., Wang, G., Wu, D., Zhu, J. and Liu, X., 2013. Synthesis of a Bio-based Polyamidoamine-Epichlorohydrin Resin and its Application for Soy-based Adhesive. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 44:237-242.
- [3] Chen, N., Lin, Q., Zeng, Q. and Rao, J., 2013. Optimization of Preparation Conditions of Soy Flour Adhesive for Plywood by Response Surface Methodology. *Industrial Crops and Products*, 51: 267-273.
- [4] Lin, Q., Chen, N., Bian, L. and Fan, M., 2012. Development and Mechanism Characterization of High Performance Soy-based Bio-adhesive. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 34:11-16.
- [5] Xu, Y., Wang, Ch., Chu, F., Frihart, C.R., Lorenz, L. and Stark, N.M., 2012. Chemical Modification of Soy Flour Protein and its Properties. *Advanced Material Research*, 343-344:875-881.
- [6] Zhong, Z., Sun, X.S., Fang, X. and Ratto, J.A., 2002. Adhesive Strength of Guanidine Hydrochloride Soy Protein for Fiberboard Application. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 22: 267-272.
- [7] Xu, H., Ma, S., Lv, W. and Wang, Z., 2011. Soy Protein Adhesives Improved by SiO₂ Nanoparticles for Plywoods. *Pigment and Resin Technology*, 40(3): 191-195.
- [8] Kumar, R., Choudhary, V., Mishara, S. and Varma, I., 2004. Enzymatically Modified Soy Protein Part 2: Adhesion Behavior. *Journal of Adhesion Science and Technology*, 18: 261-273.
- [9] Li, N., Qi, G., Sun, X. S. and Wang, D., 2012, a. Effects of Sodium Bisulfite on the Physicochemical and Adhesion Properties of Canola Protein Fractions. *Journal of Polymer and Environment*, 20: 905-915.

- [10] Li, N., Qi, G., Sun, X.S., Stamm, M. and Wang, D., 2012, b. Physicochemical Properties and Adhesion Performance of Canola Protein Modified with Sodium Bisulfite. *Journal of American Oil Chemists Society*, 89: 897-908.
- [11] Johns, W.E. and Niazi, K.A., 1980. Effect of pH and Buffering Capacity of Wood on the Gelation Time of Urea-formaldehyde Resin. *Wood and Fiber Science*, 12(4): 255-263.
- [12] Cheng, E. and Sun, X., 2004. Adhesive Properties of Modified Soybean Flour in Wheat Straw Particleboard. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 35: 297-302.
- [13] Li, H., Li, C., Gao, Q., Zhang, SH. and Li, J., 2014. Properties of Soybean-flour-based Adhesives Enhanced by Attapulgitte and Glycerol Polyglycidyle Ether. *Industrial Crops and Products*, 59: 35-40.
- [14] Rohumaa, A., Hunt, Ch., Hughes, M. and Frihart, C.R., 2016. Lathe Check Formation and their Impact on Evaluation of Veneer-based Panel Bond Quality. In: *World Conferences on Timber Engineering (WCTE)*, August 22-25, Vienna, Austria.
- [15] European Standard EN 314. 1993. Plywood -Bonding Quality, European Standardization Committee, Brussel.
- [16] American National Standard for Hardwood and Decorative Plywood, 2009. ANSI/HPVA HP-1, 36 pp.
- [17] Sun, X. and Bian, K., 1999. Shear Strength and Water Resistance of Modified Soy Protein Adhesives. *Journal of the American Oil Chemists Society*, 76 (8): 977-980.
- [18] Grant, C.A., Derksen, D.A., McLaren, D.L. and Irvine, R.B., 2011. Nitrogen Fertilizer and Urease Inhibitor Effects on Canola Seed Quality in a One-pass Seeding and Fertilizing System. *Field Crops Research*, 121: 201-208.
- [19] Chen, J.P. and Isa, K., 1998. Thermal Decomposition of Urea and Urea Derivatives by Simultaneous TG/DTA/MS. *Journal of Mass Spectrometry Society of Japan*, 46 (4): 299-303.

Performance evaluation of modified canola flour adhesive in plywood manufacturing

Abstract

The purpose of this study was to evaluate the performance of canola flour adhesive in plywood manufacturing. For this reason, first, canola flour was modified with sodium hydroxide and urea/sodium hydroxide, separately. Then to create cross linking between protein molecules, different levels of pMDI (5, 15, and 30%) were added to slurry based on dry weight of canola flour. The results of this study indicated that the dry shear strength of specimens significantly increased compared to unmodified adhesive when the alkali and urea was added to canola flour adhesive. Also, more pMDI content in adhesives improved this property. In this study, the dry shear strength of all modified canola adhesives was more than the EN-314-2 standard. In addition, chemical modification of canola adhesives improved the water resistance so that in soaking/drying cycles, the behavior of some adhesives was close or similar to urea formaldehyde.

Key words: canola flour adhesive, shear strength, water resistance, urea formaldehyde.

M. Barzegar¹
R. Behrooz^{2*}
H.R. Mansouri³
S.Kazemi Najafi⁴

¹ Ph.D. student, Department of wood and paper science and technology, Faculty of natural resources and marine sciences, Tarbiat Modares university, Noor, Iran

² Associate prof., Department of wood and paper science and technology, Faculty of natural resources and marine sciences, Tarbiat Modares university, Noor, Iran

³ Associate Prof., Department of wood and paper science and technology, University of Zabol, Zabol, Iran

⁴ Professor, Department of wood and paper science and technology, Faculty of natural resources and marine sciences, Tarbiat Modares university, Noor, Iran

Corresponding author:
rabi.behrooz@modares.ac.ir

Received: 2017/05/14
Accepted: 2017/08/14

