

## استفاده از چسب آرد سویا- تانن در ساخت تخته خرده چوب شرایط خشک

### چکیده

در این پژوهش چسب آرد سویا- تانن به طور موفقیت آمیزی در ساخت تخته خرده چوب مورد استفاده قرار گرفت. برای اصلاح ویژگی های چسب سویا از دو نوع تانن متفاوت میموزا (تانن متراکم) و شاه بلوط (هیدرولیز شدنی) استفاده شد. برای این منظور هر یک از تانن ها در مقادیر ۵، ۱۰ و ۱۵ درصد بر اساس وزن خشک آرد سویا به چسب سویا افزوده شدند و از تسریع کننده گلی اکسال برای تحریک واکنش پذیری تانن ها استفاده شد. چسب سویا- تانن آماده شده با خرده چوب های صنعتی در ساخته تخته با ابعاد ۱۴ (ضخامت) × ۳۰۰ (عرض) × ۳۵۰ (طول) میلی متر مکعب با دانسیته ظاهری ۰/۷ گرم بر سانتی متر مکعب استفاده شد. نتایج آزمون گرانیروی نشان دادند که افزودن هر یک از تانن ها سبب کاهش محسوس گرانیروی چسب سویا می شود. نتایج آزمون ترمومکانیکی چسب ها نیز نشان دادند که تانن شاه بلوط در ترکیب چسب سویای مورد استفاده در این تحقیق عملکرد بهتری در ارتقاء رفتار چسبی چسب سویا داشت. هم چنین کاربرد تانن ها در ترکیب چسب سویا سبب افزایش چسبندگی داخلی و ویژگی های خمشی تخته خرده چوب های ساخته شده گردیدند.

**واژگان کلیدی:** چسب آرد سویا، تانن، آزمون ترمومکانیکی، چسبندگی داخلی، تخته خرده چوب.

سامان قهری<sup>۱\*</sup>

آنتونیو پیزی<sup>۲</sup>

بهبود محبی<sup>۳</sup>

احمد میرشکرایبی<sup>۴</sup>

حمیدرضا منصوری<sup>۵</sup>

<sup>۱</sup> دانش آموخته دکتری فرآورده های چندسازه چوب، دانشگاه تربیت مدرس، مازندران، ایران

<sup>۲</sup> استاد شیمی صنعتی، بخش پژوهش و مطالعه مواد چوبی، دانشگاه لورین، اپینال، فرانسه

<sup>۳</sup> دانشیار گروه صنایع چوب، دانشگاه تربیت مدرس، مازندران، ایران

<sup>۴</sup> استاد گروه شیمی، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران

<sup>۵</sup> استادیار گروه صنایع چوب، دانشگاه زابل، زابل، ایران

مسئول مکاتبات:

[sgahri@gmail.com](mailto:sgahri@gmail.com)

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۲/۱۴

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۷/۱۸

### مقدمه

چسب های مصنوعی مانند اوره فرمالدهید و فنل فرمالدهید از پرکاربردترین چسب های مورد استفاده در ساخت فرآورده های چوبی می باشند که یکی از مهم ترین مشکلات استفاده از این چسب ها انتشار گاز فرمالدهید است. گاز فرمالدهید به عنوان یکی از عوامل با ریسک بالا در ایجاد سرطان محسوب می شود و به طور جدی سلامت انسان ها را در معرض خطر قرار می دهد به طوری که آژانس

بین المللی تحقیقات سرطان<sup>۱</sup> فرمالدهید را جزء مواد سرطان زا برای انسان طبقه بندی می کند. تاکنون تلاش های بسیاری در راستای کنترل و کاهش انتشار گاز فرمالدهید از فرآورده های چوبی توسط پژوهشگران متعدد انجام شده است. در این راستا یکی از راه های کاهش و جلوگیری انتشار فرمالدهید استفاده از چسب های طبیعی و تولید چندسازه های سبز است. دو راهبرد کلی برای استفاده از چسب های طبیعی و

<sup>1</sup> International Agency for Research on Cancer (IARC)

ANSI/A208.1 دارا بودند [۴].

از جمله روش‌هایی که برای اصلاح ویژگی‌های چسب سویا استفاده شده است، می‌توان به استفاده از قلیا، اوره، مواد شیمیایی اصلاح‌کننده مانند؛ پلی آمیدومین اپی کلرو هیدرین و فسفریله کردن با اکسی کلراید فسفر ( $POCl_3$ )، استفاده از مخلوط چسب‌های مصنوعی فنل فرمالدهید اشاره کرد [۹-۵]. این مواد در برخی موارد علاوه بر اصلاح ویژگی‌های رطوبتی چسب سویا سبب افزایش ویژگی‌های مکانیکی چندسازه‌های ساخته‌شده از این چسب‌ها نیز شده‌اند. ولی در فرآیندهای شیمیایی اصلاح چسب سویا استفاده از مواد شیمیایی مانند فنل فرمالدهید و پلی آمیدومین اپی کلروهیدرین و وابستگی به مواد پایه نفتی همواره مطرح است که در صورت استفاده از این مواد در اکثر موارد، علاوه بر بحث هزینه با مشکلات زیست‌محیطی جدی در زمینه آلودگی‌ها نیز روبرو هستیم. بر این اساس، استفاده از مواد جایگزین با منشأ زیستی از اولویت برخوردارند. با توجه به این‌که امروزه گرایش جوامع علمی و صنعتی به سوی استفاده از مواد زیستی به‌جای مواد شیمیایی سنتزی است؛ یکی از موادی که می‌توان برای اصلاح چسب سویا در نظر گرفت؛ تانن‌ها می‌باشند.

تانن‌ها جزئی از مواد استخراجی چوب و از دسته ترکیبات فنولی می‌باشند. تانن‌ها به دو گروه اصلی تانن‌های متراکم و تانن‌های هیدرولیز شدنی طبقه‌بندی می‌شوند. این ترکیبات در بخش وسیعی از مواد خام شامل پوست، چوب و برگ درختان، گال‌ها، میوه‌ها و پوست آن‌ها و پوست بعضی از بذرها یافت می‌شوند [۱۰]. تانن‌ها فرآورده‌هایی طبیعی با وزن مولکولی زیاد هستند که قادرند با پروتئین‌ها کمپلکس‌هایی را تشکیل دهند. بر همین اساس از نظر کاربرد صنعتی، فرآورده‌های طبیعی مهمی به شمار می‌روند. بیش از ۹۰ درصد تانن‌هایی که به صورت تجاری تولید می‌شوند از نوع تانن متراکم هستند و از پوست میموزا، چوب کوبراکو، پوست کاج به دست می‌آیند [۱۱]. همه تانن‌ها یک سری ویژگی‌های مشترک دارند که از این میان می‌توان به توانایی انعقاد پروتئین‌ها اشاره کرد. این مواد در آب حل می‌شوند و ویژگی قابض بودن از خود نشان می‌دهند. تانن‌ها به‌ویژه در فرآیند دباغی پوست (مقاوم کردن پوست در برابر پوسیدگی)، فرآوری مواد غذایی، ساخت چسب چوب به‌عنوان ماده

توسعه آن‌ها وجود دارند که عبارت‌اند از: عدم استفاده از مواد شیمیایی نفتی و عدم استفاده از مواد سمی و خطرناک. در سال‌های اخیر چسب‌های زیستی به‌طور موفقیت‌آمیزی در چندسازه‌های چوبی مورد استفاده قرار گرفته‌اند. از جمله چسب‌های زیستی می‌توان به چسب‌های تهیه‌شده از آرد سویا اشاره کرد [۱].

به دلیل طبیعی و زیستی بودن چسب سویا، کاربرد آن در چندسازه‌های چوبی مورد توجه پژوهشگران قرار گرفته است. به‌طور کلی چسب‌های سویا به چهار روش مورد استفاده قرار می‌گیرند که عبارت‌اند از: ۱- افزودن آرد سویا به چسب‌های مصنوعی متداول با هدف کاهش مصرف چسب‌های مصنوعی ۲- استفاده از آرد سویا به‌عنوان حجم دهنده به همراه چسب‌های مصنوعی در ساخت تخته‌لایه؛ ۳- تغییر ماهیت شیمیایی یا ساختار پروتئین سویا با استفاده از مواد شیمیایی و آنزیم‌ها و استفاده از آن‌ها به‌عنوان چسب؛ ۴- استفاده از عوامل اتصال‌دهنده به همراه چسب سویا مانند اپوکسی‌ها [۱]. از مزایای چسب سویا می‌توان زیستی بودن و عدم انتشار فرمالدهید، قیمت پایین و شرایط فرآوری و مصرف آسان آن را نام برد [۲]. در کنار مزایای خوب، چسب‌های سویا دارای معایب و محدودیت‌هایی نیز هستند که می‌توان به گرانروی بالای چسب‌های سویا در درصد ماده جامد پایین و مشکل اختلاط بهینه با ذرات چوبی، زمان پرس طولانی‌تر، مقاومت مکانیکی ضعیف‌تر، مقاومت به رطوبت ضعیف‌تر و مقاومت زیستی ضعیف‌تر در مقایسه با چسب‌های مصنوعی برای تولید چندسازه‌های چوبی اشاره کرد [۳]. این مشکلات در گذشته سبب روی آوردن صنایع به چسب‌های شیمیایی وابسته به منابع فسیلی گردید؛ اما امروزه با افزایش مشکلات زیست‌محیطی به دلیل استفاده از چسب‌های فرمالدهیدی و هزینه‌های بالای منابع فسیلی دوباره چسب‌های سویا مورد توجه پژوهشگران و صنایع قرار گرفته‌اند. امکان‌سنجی استفاده از چسب کنسانتره پروتئین سویا برای ساخت تخته خرده از گاه با دانسیته متوسط توسط Ciannamea و همکاران در سال ۲۰۱۰ مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که تخته‌های ساخته‌شده در ویژگی‌های مورد بررسی یعنی مقاومت خمشی، مدول الاستیسیته و چسبندگی داخلی حداقل مقادیر لازم را بر اساس استاندارد آمریکایی

واکنش‌ها به واکنش میلارد<sup>۲</sup> معروف هستند. مکانیسم این واکنش تشکیل پیوند بین گروه کربونیل قند و عامل آمین آزاد اسیدآمین است. واکنش میلارد در سویا تحت تأثیر عواملی نظیر حرارت، اسیدیته و رطوبت است [۱۶ و ۱۵]. از طرف دیگر تانن‌ها نیز از اجزای متنوعی تشکیل می‌شوند. به‌عنوان مثال تانن شاه‌بلوط مخلوطی از اسیدهای فنلی مانند اسید گالیک، اسید دی‌گالیک و اسید الازیک است که هرکدام بسته به شرایط واکنش می‌توانند با اسیدهای آمینه پیوندهای هیدروژنی تشکیل دهند. هم‌چنین شرایط مشابهی برای تانن متراکم میموزا نیز وجود دارد که از ترکیباتی مانند کاتکین تشکیل شده است. گروه‌های هیدروکسیل، گروه کربونیل و حلقه فنلی از جمله عوامل واکنشگر موجود در انواع تانن‌ها می‌باشند که هر یک قابلیت تشکیل پیوند با پروتئین‌ها یا به‌عبارت‌دیگر اسیدهای آمینه موجود در پروتئین‌ها را دارند. به‌عنوان مثال حضور اهداکننده‌های<sup>۳</sup> هیدروژن مانند گروه هیدروکسیل در تانن‌ها و وجود نقاط پذیرنده<sup>۴</sup> روی زنجیره‌های پپتید پروتئین‌ها (اسیدهای آمینه) احتمال تشکیل پیوند هیدروژنی را فراهم می‌کند. بنا به دلایل بیان‌شده ماهیت پیوند بین تانن‌ها و پروتئین‌ها را می‌توان مجموعه‌ای از انواع پیوندهای هیدروژنی، کووالانسی، یونی و آب‌گریز<sup>۵</sup> در نظر گرفت [۱۷].

از گفته‌های بالا می‌توان انتظار داشت که تانن‌ها قابلیت ارتقای ویژگی‌های چسب آرد سویا را داشته باشند و میزان اثرگذاری تانن‌ها نیز تحت تأثیر نوع و درصد استفاده از آن‌ها به همراه آرد سویا خواهد بود. بنابراین هدف این پژوهش تعیین نوع مناسب تانن و درصد بهینه استفاده از آن برای اصلاح ویژگی‌های چسب سویا و ساخت چسبی با ویژگی‌های قابل‌مقایسه با چسب‌های مصنوعی متداول در ساخت تخته‌خرده‌چوب است. برای مقایسه بهتر ویژگی‌های مکانیکی تخته‌خرده‌چوب‌های ساخته‌شده با مقادیر استانداردهای EN مطابقت داده شدند.

<sup>۱</sup> بارالکتریکی در اسیدیته مشخص در نتیجه یونیزه شدن مولکول و با گرفتن یا از دست دادن پروتون در آنها ایجاد می‌شود. در پروتئین سویا، برابری بارهای مثبت و منفی اسیدهای آمینه در اسیدیته حدود ۴/۵ نقطه تعادل بار الکتریکی یا نقطه ایزوالکتریک می‌گویند.

<sup>۲</sup> Maillard Reaction

<sup>۳</sup> Donor

<sup>۴</sup> Acceptor

<sup>۵</sup> Hydrophobic Bonding

جایگزین رزین فنل فرمالدهید و نیز در فرآیندهای حفاظت چوب مصرف می‌شوند [۱۲ و ۱۱].

با توجه به این که یکی از مهم‌ترین خاصیت تانن‌ها قابلیت آن‌ها در ترکیب با پروتئین است، این مواد قادرند با پروتئین‌ها واکنش داده و باعث ایجاد اتصالات عرضی در پروتئین‌ها گردند [۱۳]. بر این اساس تانن‌ها یکی از مواد مهم مورد استفاده در دباغی گیاهی می‌باشند. در دباغی گیاهی الیاف پوست با تانن‌ها پوشش داده می‌شوند و گروه‌های فعال پروتئین‌های پوست را غیرفعال می‌کنند و عمر مصرف آن‌ها را افزایش می‌دهند. پژوهشی Rawel و همکاران (۲۰۰۲) روی واکنش‌پذیری اسیدهای فنلی (مانند اسید گالیک) با پروتئین‌ها انجام دادند و بیان داشتند که ترکیبات فنلی می‌توانند در پروتئین‌ها اتصالات عرضی به وجود آورده و تعادل بار الکتریکی<sup>۱</sup> آن‌ها را تغییر دهند [۱۴]. درباره‌ی نحوه واکنش اجزای آرد سویا با اجزای تانن ضروری است که موارد مهمی را در نظر داشت. آرد سویا ترکیبی از پلیمرهای مختلف است که این موضوع پی بردن به تغییرات ایجادشده را دشوار می‌کند. آرد سویای مورد استفاده در این تحقیق از دو ماده اصلی یعنی پروتئین‌ها و کربوهیدرات‌ها تشکیل شده است. کربوهیدرات‌ها نیز به دودسته محلول در آب و نامحلول در آب تقسیم می‌شوند. پژوهش‌های پیشین نشان داده است که کربوهیدرات‌های محلول در آب سبب افزایش گرانبوی، مصرف بیشتر عوامل اصلاح‌کننده آرد سویا و افزایش جذب آب آرد سویا می‌شوند که در نهایت منجر به نرم شدن چسب در شرایط مرطوب نیز می‌شوند [۶۲]. پروتئین‌های آرد سویا نیز از ترکیب‌های متفاوتی تشکیل شده‌اند که این مسئله درک درست از کارایی اجزای مختلف آرد سویا را دشوارتر می‌کند. پروتئین موجود در آرد سویا از حدود هجده نوع اسیدآمین تشکیل شده است که هر یک از آن‌ها قابلیت برقراری پیوند با تانن‌ها را دارند. هم‌چنین عامل دیگری که سبب پیچیدگی بیشتر درک واکنش‌های آرد سویا می‌شود واکنش‌های است که بین اجزای آرد سویا انجام می‌شود مانند واکنش‌هایی که بین پروتئین‌ها، اسیدهای آمینه، آمین‌ها با قندها، آلدئیدها و یا کتون‌ها به دلایلی نظیر حرارت دادن به وجود می‌آیند که این

## مواد و روش‌ها

کنجاله سویا وارپته جی تی ایکس از کارخانه بهپاک بهشهر تهیه شد. تانن متراکم میموزا (*Acacia mearnsii*) و تانن هیدرولیز شدنی شاهبلوط (*Castanea sativa*) از شرکت SILVA, S. Michele Mondovi تهیه شد. اوره، گلی‌اکسال و هیدروکسید سدیم از شرکت ACROS Organics تهیه شده بودند. در پژوهش قبلی اجزای تشکیل‌دهنده آرد سویا و اندازه بهینه ذرات آرد سویا مورد استفاده در ساخت چسب مورد بررسی قرار گرفته بود [۱]. آرد سویا با اندازه مش ذرات ۱۴۰ پس از یک مرحله حلال شویی با الکل با استفاده از همزن مکانیکی با سرعت ۷۰۰ دور در دقیقه با نسبت ۱ به ۲ با آب مخلوط گردید. سپس محلول هریک از تانن‌ها با غلظت ۴۵ درصد (ماده جامد) در آب با استفاده از همزن مکانیکی آماده گردید و با نسبت‌های ۵، ۱۰ و ۱۵ درصد بر مبنای وزن خشک سویا به مخلوط آب و سویا اضافه و به مدت ۳۰ دقیقه در دمای محیط آزمایشگاه ( $21 \pm 2$  درجه سانتی‌گراد) هم زده شد. بعد از آماده‌سازی مخلوط سویا-تانن، اوره با نسبت ۱ به ۱ وزن خشک سویا به صورت محلول ۵۰ درصد به تدریج به سیستم در دمای محیط آزمایشگاه ( $21 \pm 2$  درجه سانتی‌گراد) افزوده شد. از ۹ درصد گلی‌اکسال (محلول ۴۰ درصد) بر مبنای وزن خشک تانن به عنوان تسریع‌کننده واکنش تانن‌ها استفاده گردید. به منظور اثربخشی عملکرد گلی‌اکسال در فعال‌سازی واکنش‌های تانن‌ها اسیدیتته چسب‌های مختلف سویا-تانن (جدول ۲) با استفاده از محلول ۵۰ درصد هیدروکسید سدیم تا اسیدیتته ۸ ارتقاء یافت.

### مواد جامد چسب

ماده جامد هریک از چسب‌های سویا پس افزودن تانن‌ها طبق استاندارد ASTM D 4426-93 اندازه‌گیری و نتایج آن‌ها در جدول ۲ ارائه شده‌اند [۲۷].

### گرانروی چسب

یکی دیگر از ویژگی‌های کاربردی چسب‌ها قابلیت جریان پذیری آن‌ها یا به عبارت دیگر گرانروی آن‌ها است. برای بررسی اثر تانن میموزا و تانن شاهبلوط بر گرانروی چسب‌های ساخته شده از دستگاه اندازه‌گیری گرانروی مدل Brookfield DV- II استفاده شد. برای اندازه‌گیری

مقدار گرانروی در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد (با استفاده از حمام آب) در زمان ۶۰ ثانیه از اسپیندل شماره ۶ و سرعت ۱۰۰ دور دقیقه (rpm) استفاده شد.

### اسیدیتته چسب

اسیدیتته هریک از چسب‌های سویا پس افزودن تانن‌ها با استفاده از pH Metre مدل HANA اندازه‌گیری و نتایج آن‌ها در جدول ۲ ارائه شده‌اند.

### دانسیته چسب

دانسیته هریک از چسب‌های سویا با استفاده از پیکنومتر بر اساس استاندارد ASTM D 1217-93 اندازه‌گیری شدند [۲۸] و نتایج آن‌ها در جدول ۳ ارائه شدند.

### زمان ژله‌ای شدن

زمان ژله‌ای شدن هریک از چسب‌های سویا با استفاده از آزمون ترمومکانیکی محاسبه گردید. در نمودار آزمون ترمومکانیکی لحظه شروع واکنش‌های سخت شدن رزین در دمای معین به عنوان زمان ژله‌ای شدن در نظر گرفته شد [۱۸].

### تحلیل ترمومکانیکی<sup>۱</sup> (TMA) چسب

مدول الاستیسیته چسب‌های مختلف با تحلیل‌گر گرمایی-مکانیکی مدل Mettler TMA 40 و با استفاده از نرم‌افزار STARe با گام‌های ۱۰ درجه سانتی‌گراد به ازای هر دقیقه در محدوده دمایی ۲۵ تا ۲۵۰ درجه سانتی‌گراد مورد بررسی قرار گرفت. برای این منظور مقدار ۲۲ میلی‌گرم چسب بین دو روکش چوبی گونه راش اعمال شد و آزمون خمش سه نقطه‌ای غیرهم‌دما با دهانه‌ی بارگذاری ۱۷ میلی‌متر انجام شد. بارگذاری به صورت چرخه‌ی ۰/۱ و ۰/۵ نیوتن بود که با فواصل زمانی شش ثانیه روی نمونه اعمال گردید.

### چسب‌زنی و ساخت تخته خرده چوب

در این پژوهش تخته خرده چوب‌های همسان به ابعاد اسمی (ضخامت)  $14 \times$  (عرض)  $300 \times$  (طول)  $350$

<sup>1</sup> Thermo-mechanical Analyze

دستگاه پرس داغ آزمایشگاهی مدل JOOS ساخت کشور آلمان در آزمایشگاه موسسه انستیب<sup>۱</sup> (دانشگاه لورین، فرانسه) استفاده شد. از پرس مرحله‌ای با شرایط جدول ۱ استفاده شده است. هم‌چنین دانسیته تخته‌های ساخته‌شده با استفاده از دستگاه Grecon DAX 5000 اندازه‌گیری شد. این دستگاه بر اساس تابش اشعه ایکس به نمونه‌های تخته مقادیر دانسیته را در قسمت‌های سطوح تخته و قسمت میانی تخته اندازه‌گیری می‌کند.

میلی‌مترمکعب با خرده‌چوب‌های صنعتی با ۳ درصد رطوبت و ترکیب‌های مختلف چسب سویا-تانن ساخته شدند. میزان مصرف چسب ۱۰ درصد وزن خشک خرده‌چوب‌ها و دانسیته اسمی تخته‌خرده‌چوب‌ها ۰/۷ گرم بر سانتی‌متر مکعب در نظر گرفته شد. برای ساخت نمونه‌های تخته‌خرده‌چوب پس از چسب زنی با چسب زن مکانیکی به مدت ۲ دقیقه و سرعت ۵۰۰ دور در دقیقه و تشکیل کیک خرده‌های چوب با استفاده از قالب چوبی، از

جدول ۱- شرایط پرس داغ در ساخت تخته خرده چوب

شرایط پرس داغ	فشار (کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع)	زمان (ثانیه)	دما (درجه سانتی‌گراد)
مرحله اول	۲۸	۱۸۰	۲۲۰
مرحله دوم	۱۲	۱۲۰	۲۲۰
مرحله سوم	۵/۸	۱۵۰	۲۲۰

هم تانن میموزا و هم تانن شاه‌بلوط به‌طور قابل‌توجهی میزان گرانشی چسب سویا را کاهش می‌دهند. به‌طوری‌که چسب سویای اصلاح‌شده با ۱۵ درصد تانن میموزا و ۱۵ درصد شاه‌بلوط به ترتیب گرانشی برابر ۱۱۹۵ و ۹۹۵ سانتی‌پواز داشتند. به‌عبارت‌دیگر در صورت استفاده از ۱۵ درصد تانن (میموزا یا شاه‌بلوط) می‌توان گرانشی چسب سویا را تا بیش از ۸۰ درصد کاهش داد. هم‌چنین نتایج جدول ۲ نشان می‌دهند که افزودن تانن‌ها به چسب سویا سبب کاهش اسیدیته نیز شد اما دانسیته و زمان ژله‌ای شدن چسب با افزودن تانن‌ها به چسب سویا تغییر محسوسی نشان ندادند.

از مقایسه عملکرد تانن‌ها در کاهش گرانشی چسب سویا می‌توان گفت که تانن شاه‌بلوط عملکرد بهتری نسبت به تانن میموزا نشان می‌دهد. کاهش گرانشی چسب سویا با استفاده از تانن‌ها دستاورد قابل قبولی محسوب می‌شود زیرا همان‌طور که پیش‌تر ذکر گردید یکی از مهم‌ترین مشکلات چسب‌های سویا بالا بودن گرانشی آن‌هاست. تانن‌ها سبب انعقاد پروتئین‌ها می‌شوند و این پدیده سبب کاهش گرانشی چسب آرد سویا می‌گردد. مکانیسم انعقاد به این صورت است که ابتدا پیوندهای آب‌گریز بین حلقه‌های

### خواص مکانیکی تخته‌ها

پس از برش نمونه‌ها بر اساس استاندارد EN-326، خواص مکانیکی شامل مدول گسیختگی و مدول الاستیسیته بر اساس استاندارد EN-310 و چسبندگی داخلی تخته‌خرده‌چوب‌ها بر اساس استاندارد EN-319 مورد ارزیابی قرار گرفتند [۲۹-۳۱]. برای این منظور تعداد ۱۰ نمونه از هر تیمار برای آزمایش با دستگاه آزمون مکانیکی مدل INSTRON 4467 انتخاب شدند.

### خواص فیزیکی تخته‌ها

خواص فیزیکی شامل جذب آب و واکنشیدگی ضخامت بر اساس استاندارد EN-317 مورد ارزیابی قرار گرفتند [۳۲]. برای این هدف نمونه‌های تخته‌خرده‌چوب در آب غوطه‌ور شدند و پس از ۲ و ۲۴ ساعت میزان جذب آب و واکنشیدگی ضخامت آن‌ها اندازه‌گیری شدند.

### نتایج و بحث

#### گرانشی چسب

گرانشی ترکیب‌های مختلف چسب سویا در جدول ۲ ارائه شده است. نتایج نشان می‌دهند که چسب سویا بدون حضور تانن‌ها گرانشی معادل ۶۴۱۰ سانتی‌پواز دارد که مقدار قابل‌توجهی است. هم‌چنین نتایج نشان می‌دهند که

<sup>۱</sup> ENSTIB

کووالانسی و یونی نیز سبب انعقاد بیشتر پروتئین می‌شوند. این پدیده‌ها در نهایت سبب کاهش ویسکوزیته چسب سویا در حضور تانن‌ها می‌شوند [۱۹]. کاهش گرانیروی چسب سویا با تانن‌ها سبب اختلاط بهتر چسب‌های سویا با خرده‌های چوب و پراکنش بهتر در یک خرده‌چوب می‌گردد که در نهایت سبب افزایش ویژگی‌های تخته خرده‌چوب‌های ساخته‌شده با چسب سویا تانن می‌شود.

آروماتیک تانن و سایت‌های آب‌گریز پروتئین (اسیدهای آمینه) برقرار می‌شود. به‌طور هم‌زمان پیوندهای هیدروژنی بین گروه‌های هیدروکسیل تانن و گروه‌های کربونیل و آمین اسیدهای آمینه ایجاد می‌شود که سبب پایداری کمپلکس ایجادشده می‌گردد. در ادامه تشکیل پیوندهای هیدروژنی بیشتر سبب متراکم شدن یا همان انعقاد پروتئین می‌شوند و کمپلکس ایجادشده که حالا منعقدشده به‌صورت نامحلول درمی‌آید. علاوه بر پیوندهای هیدروژنی، پیوندهای

جدول ۲- خواص ترکیب‌های مختلف چسب سویا

ترکیب چسب سویا	اسیدیته	ماده جامد (درصد)	دانسیته (گرم بر سانتی‌متر مکعب)	زمان ژله‌ای شدن (ثانیه)	گرانیروی (سانتی پوآز)	نرخ کاهش گرانیروی (درصد)
سویا-اوره	۶/۸	۴۱/۱۸	۱/۱۰	۳۳۶ (۸۱) *	۶۴۱۰	-
سویا-اوره-میموزا ۵ درصد	۵/۹	۴۱/۷۶	۱/۱۰	۳۵۰ (۸۳)	۴۸۰۰	۲۵
سویا-اوره-میموزا ۱۰ درصد	۵/۷	۴۱/۷۳	۱/۱۱	۳۵۰ (۸۳)	۲۴۶۰	۶۱
سویا-اوره-میموزا ۱۵ درصد	۵/۶	۴۱/۸۱	۱/۱۱	۳۵۰ (۸۳)	۱۱۹۵	۸۱
سویا-اوره-شاه بلوط ۵ درصد	۵/۸	۴۱/۸۰	۱/۱۱	۳۳۶ (۸۱)	۳۷۲۰	۴۲
سویا-اوره-شاه بلوط ۱۰ درصد	۵/۶	۴۱/۹۰	۱/۱۱	۳۰۸ (۷۶)	۲۰۱۵	۶۹
سویا-اوره-شاه بلوط ۱۵ درصد	۵/۵	۴۱/۷۸	۱/۱۱	۳۶۴ (۸۵)	۹۹۵	۸۵

\* اعداد داخل پرانتز نشان‌دهنده دمای ژله‌ای شدن چسب در آزمون ترمومکانیکی می‌باشند

فعالیت بیشتر حلقه‌های فنلی و گروه‌های هیدروکسیلی عملکرد بهتری نسبت به تانن‌های هیدرولیز شدنی دارند؛ اما عملکرد تانن‌ها به‌عنوان افزودنی به چسب سویا به عوامل دیگری نیز بستگی دارد [۲۰] که از آن جمله می‌توان به نوع ترکیب و مقدار ماده جامد چسب، تفاوت ساختار شیمیایی تانن‌های متراکم و تانن‌های هیدرولیز شدنی، ویژگی‌های تانن‌ها مانند میزان تمایل<sup>۱</sup> و گزینش‌پذیری<sup>۲</sup> آن‌ها در واکنش با اجزای ماده جامد چسب و ماهیت ماده‌ای که به‌عنوان چسب استفاده می‌شود اشاره کرد. این موارد برای تانن میموزا و تانن شاه‌بلوط نیز وجود دارند. به‌عنوان مثال تانن میموزا دارای ساختمانی شاخه‌دار و تشکیل‌شده از واحدهای روبینتیدین، فیستینیدین، کاتکین و دلفینیدین است

### تحلیل ترمومکانیکی (TMA) چسب

شکل ۲ و شکل ۳ نمودارهای آزمون TMA ترکیب‌های مختلف چسب سویا را نشان می‌دهند. نتایج آزمون TMA نشان‌دهنده‌ی نوعی از رفتار حرارتی ترکیبات مختلف چسب سویا-تانن (سخت شدن چسب با اعمال حرارت) است. همگام با افزایش دما مقادیر مدول الاستیسیته انواع چسب‌های سویا اصلاح‌شده با تانن‌ها و بدون آن‌ها افزایش نشان دادند ولی عملکرد دو نوع تانن در ترکیب چسب سویا اندکی متفاوت است. افزایش مقادیر تانن میموزا از ۵ تا ۱۵ درصد تا حدودی سبب کاهش مقدار مدول الاستیسیته حداکثر در چسب‌های سویا-میموزا شد درحالی‌که تانن شاه‌بلوط در مقادیر ۵ و ۱۰ درصد سبب افزایش مقدار مدول الاستیسیته حداکثر گردید. به‌طور کلی در صورت استفاده از تانن‌ها به‌عنوان چسب، تانن‌های متراکم به دلیل ساختار گسترده‌تر و

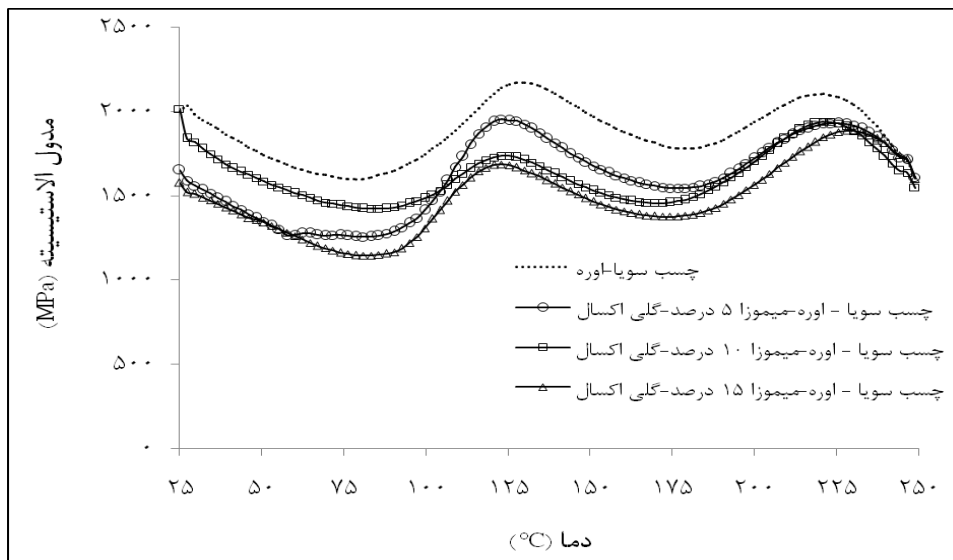
<sup>1</sup> Affinity

<sup>2</sup> Selectivity

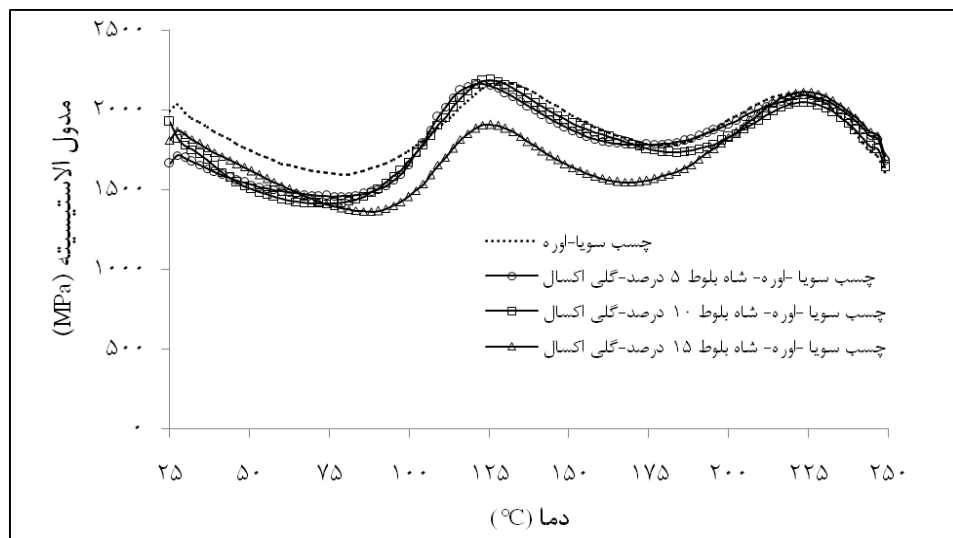
(تانن متراکم) در واکنش با آرد سویا به دلیل فعالیت بیشتر حلقه‌های فنلی و گروه‌های هیدروکسیل نسبت به تانن شاه‌بلوط (تانن هیدرولیز شدنی)، نتایج TMA نشان داد که تانن شاه‌بلوط برای چسب مورد مطالعه در این پژوهش بهتر است. یکی از عوامل مهم در توضیح این رفتار تانن میموزا حضور اوره در ترکیب چسب است. وجود اوره در ترکیب چسب مورد مطالعه در این پژوهش عامل بازدارنده واکنش‌های تراکمی تانن میموزا در ترکیب چسب بوده [۲۳] و به‌عنوان دلیلی بر کاهش اثرگذاری تانن میموزا و بازدارندگی واکنش‌پذیری آن در چسب مورد مطالعه مطرح است.

[۲۱]. درحالی‌که تانن شاه‌بلوط ترکیبی از قندها مانند گلوکز که با پیوند استری با فنل‌های ساده مانند اسید گالیک و اسید دی‌گالیک و ترکیبات پیچیده‌تر مانند اسید الازیک است [۲۲].

از طرف دیگر آرد سویا نیز ترکیبی از انواع پروتئین‌ها و کربوهیدرات‌ها است. از نتایج TMA چنین برمی‌آید که احتمالاً تانن شاه‌بلوط سازگاری و گزینش‌پذیری بیشتری با اجزای چسب آرد سویا-اوره نشان می‌دهد و به همین دلیل عملکرد بهتری در آزمون TMA چسب مورد مطالعه نسبت به تانن میموزا نشان داد. علیرغم انتظار عملکرد بهتر تانن میموزا



شکل ۲- نتایج آزمون ترمومکانیکی ترکیبات مختلف چسب سویا-اوره و تانن میموزا



شکل ۳- نتایج آزمون ترمومکانیکی ترکیبات مختلف چسب سویا-اوره و تانن شاه‌بلوط

## چسبندگی داخلی تخته‌ها

مقادیر چسبندگی داخلی تخته‌خرده‌چوب‌های ساخته‌شده با چسب‌های مختلف در کنار دانسیته هر یک از تخته‌ها در جدول ۳ ارائه شده است. همان‌طور که نتایج نشان می‌دهند افزودن تانن‌های میموزا و شاه‌بلوط به چسب سویا سبب افزایش چسبندگی داخلی تخته‌خرده‌چوب‌ها می‌گردد که این پدیده به دلیل قابلیت واکنش تانن‌ها با پروتئین‌ها است [۲۴]. ولی این مقدار در درصدهای مختلف استفاده از تانن‌ها و نوع تانن‌ها متفاوت

است. با در نظر گرفتن مقادیر دانسیته تخته‌های خرده چوب، تانن میموزا و تانن شاه‌بلوط به ترتیب در مقادیر ۵ و ۱۰ درصد بیشترین مقدار چسبندگی را در چسب سویا ایجاد می‌کنند. در مقایسه با تانن میموزا، تانن شاه‌بلوط عملکرد بهتری در افزایش مقدار چسبندگی داخلی تخته‌ها نشان می‌دهد که این پدیده به دلیل ساختار شیمیایی متفاوت تانن شاه‌بلوط و سازگاری بهتر تانن شاه‌بلوط با اجزای آرد سویا در انجام واکنش‌ها و برقراری پیوندهای عرضی بین اجزای پروتئینی آرد سویا است.

جدول ۳- خواص چسبندگی داخلی تخته‌ها

ترکیب چسب سویا	چسبندگی داخلی (مگاپاسکال)	دانسیته (کیلوگرم بر مترمکعب)
سویا-اوره	۰/۲۸ (۰/۰۷)*	۶۹۹
سویا-اوره-میموزا ۵ درصد	۰/۲۸ (۰/۰۷)	۶۸۶
سویا-اوره-میموزا ۱۰ درصد	۰/۲۹ (۰/۰۶)	۶۹۸
سویا-اوره-میموزا ۱۵ درصد	۰/۲۶ (۰/۰۳)	۶۹۰
سویا-اوره-شاه بلوط ۵ درصد	۰/۳۰ (۰/۰۶)	۶۹۸
سویا-اوره-شاه بلوط ۱۰ درصد	۰/۳۵ (۰/۰۷)	۶۸۶
سویا-اوره-شاه بلوط ۱۵ درصد	۰/۳۱ (۰/۰۷)	۶۹۴
استاندارد EN-319 شرایط خشک نوع ۱	۰/۲۴	-
استاندارد EN-319 شرایط خشک نوع ۲	۰/۳۵	-

\* عدد داخل پرانتز نشان‌دهنده انحراف معیار از میانگین است.

## خواص خمشی تخته‌ها

مدول گسیختگی و مدول الاستیسیته تخته‌های خرده‌چوب ساخته‌شده با انواع چسب‌های سویا در کنار دانسیته هر یک از تخته‌ها در جدول ۴ ارائه شده است. نتایج نشان می‌دهند که مقادیر مدول گسیختگی و مدول الاستیسیته تخته‌خرده‌چوب ساخته‌شده با چسب سویا بدون تانن به ترتیب حدود ۷/۴۹ مگاپاسکال و ۲۲۹۵ مگاپاسکال است. نتایج جدول ۴ نیز نشان می‌دهند که استفاده از تانن شاه‌بلوط از ۵ تا ۱۵ درصد در ترکیب چسب سویا سبب افزایش مقادیر مدول گسیختگی و مدول الاستیسیته تخته‌ها نسبت به نمونه شاهد (تخته ساخته‌شده با چسب سویا-اوره) می‌شود. همچنین افزودن

۵ درصد تانن میموزا به چسب سویا سبب افزایش مدول گسیختگی تخته‌ها (۸/۳۵ مگاپاسکال) نسبت به نمونه شاهد (۷/۴۹ مگاپاسکال) می‌شود ولی افزایش بیش از ۵ درصد سبب کاهش مقدار مدول گسیختگی در تخته‌های ساخته‌شده با چسب سویا-تانن میموزا می‌گردد. البته افزودن و افزایش مقدار تانن میموزا در ترکیب چسب سویا مدول الاستیسیته تخته‌ها را نسبت به نمونه شاهد افزایش می‌دهد.

مشابه مقاومت چسبندگی داخلی، اثرگذاری نوع و مقدار تانن‌ها در ترکیب چسب سویا بر ویژگی‌های خمشی تخته‌خرده‌چوب متفاوت است. به‌طور کلی در مقایسه با تخته‌های ساخته‌شده با چسب سویا بدون تانن و با در نظر



خرده‌های چوب در هنگام فرآیند چسب‌زنی می‌شوند. هم‌چنین تانن‌ها با تشکیل پیوند عرضی بین زنجیره‌ها سبب تقویت ویژگی‌های چسبندگی در چسب سویا می‌گردند. در نتیجه کاهش گرانشی و تشکیل اتصالات بین زنجیره‌ها به دلیل حضور تانن‌ها در ترکیب چسب سویا ویژگی‌های خمشی تخته‌خرده‌چوب‌های ساخته‌شده با چسب سویا بهبود می‌یابند.

گرفتن مقادیر دانسیته تخته‌ها استفاده از تانن میموزا در ۵ درصد بیشترین مقدار مدول گسیختگی (۸/۳۵ مگاپاسکال) و در ۱۵ درصد بیشترین مقدار مدول الاستیسیته (۲۴۶۳ مگاپاسکال) را نشان می‌دهند. هم‌چنین در صورت استفاده از ۱۵ درصد تانن شاه‌بلوط بیشترین مقاومت خمشی (۸/۳۷ مگاپاسکال) و در ۱۰ درصد بیشترین مدول الاستیسیته خمشی (۲۶۰۳ مگاپاسکال) به دست می‌آید. تانن‌ها با کاهش گرانشی چسب سویا سبب اختلاط بهتر

جدول ۴- خواص خمشی تخته‌ها

ترکیب چسب سویا	مدول گسیختگی (مگاپاسکال)	مدول الاستیسیته (مگاپاسکال)	دانسیته (کیلوگرم بر مترمکعب)
سویا-اوره	۷/۴۹ (۰/۳۹)*	۲۲۹۵ (۳۱)*	۶۶۰
سویا-اوره-میموزا ۵ درصد	۸/۳۵ (۰/۲۴)	۲۳۶۲ (۹۱)	۶۸۷
سویا-اوره-میموزا ۱۰ درصد	۷/۷۰ (۰/۳۹)	۲۳۸۰ (۵۲)	۶۷۰
سویا-اوره-میموزا ۱۵ درصد	۷/۰۹ (۰/۱۲)	۲۴۶۳ (۳۲)	۶۸۰
سویا-اوره-شاه بلوط ۵ درصد	۷/۸۹ (۰/۲۰)	۲۴۷۸ (۲۹)	۶۷۷
سویا-اوره-شاه بلوط ۱۰ درصد	۸/۰۷ (۰/۲۵)	۲۶۰۳ (۶۸)	۶۷۲
سویا-اوره-شاه بلوط ۱۵ درصد	۸/۳۷ (۰/۲۲)	۲۵۶۳ (۸۰)	۶۸۱
استاندارد EN-310 شرایط خشک نوع ۱	۱۱/۵۰	-	-
استاندارد EN-310 شرایط خشک نوع ۲	۱۳	۱۶۰۰	-

\* عدد داخل پرانتز نشان‌دهنده اشتباه استاندارد است.

### جذب آب و واکنشیدگی ضخامت تخته‌ها

جذب آب و واکنشیدگی ضخامت ۲ و ۲۴ ساعت بعد از غوطه‌وری در آب تخته‌های خرده‌چوب ساخته‌شده با انواع چسب‌های سویا در جدول ۵ ارائه شده است. نتایج نشان می‌دهند که میزان جذب آب و پیرو آن واکنشیدگی ضخامت تخته‌های خرده‌چوب ساخته‌شده با چسب سویا بالاتر از مقادیر ارائه شده در استاندارد EN-312 می‌باشند. استفاده از تانن‌ها در ترکیب چسب سویا میزان جذب آب و واکنشیدگی ضخامت کاهش می‌دهند اما مقادیر

به‌دست آمده همچنان بالاتر از میزان مجاز استاندارد اروپایی (۱۵ درصد) است [۳۳]. وجود کربوهیدرات‌ها در آرد سویا از عوامل اصلی جذب آب و نرم شدن چسب سویا در حضور آب است. کربوهیدرات‌های آرد سویا در نهایت سبب کاهش مقاومت تخته‌های ساخته‌شده با چسب سویا در برابر آب نیز می‌گردند [۲۶]. نتایج مطالعه Cheng و همکاران در سال ۲۰۰۴ نیز نشان‌دهنده بالا بودن میزان جذب آب و واکنشیدگی ضخامت تخته‌های ساخته‌شده با چسب سویا بود [۲۵].

جدول ۵- جذب آب و واكشیدگی ضخامت نخته‌ها

ترکیب چسب سویا	جذب آب پس از ۲ ساعت غوطه‌وری در آب	جذب آب پس از ۲۴ ساعت غوطه‌وری در آب	واكشیدگی ضخامت پس از ۲ ساعت غوطه‌وری در آب	واكشیدگی ضخامت پس از ۲۴ ساعت غوطه‌وری در آب
سویا-اوره	۸۳/۷ (۸/۶)	۱۰۱ (۶)	۴۵/۹ (۲)	۵۰/۳ (۳/۱)
سویا-اوره-میموزا ۵ درصد گلی اکسال	۷۹/۱ (۷/۳)	۹۴/۹ (۱۰/۹)	۴۲/۹ (۴/۸)	۴۹/۸ (۳/۴)
سویا-اوره-میموزا ۱۰ درصد گلی اکسال	۸۱/۶ (۲/۲)	۹۴ (۴)	۴۵/۳ (۱/۶)	۴۸/۵ (۲/۳)
سویا-اوره-میموزا ۱۵ درصد گلی اکسال	۷۹/۱ (۱/۵)	۹۲/۱ (۴/۸)	۴۵/۲ (۶/۶)	۴۷/۹ (۸/۸)
سویا-اوره-شاه بلوط ۵ درصد گلی اکسال	(۷۹/۳) (۱/۴)	۹۶/۵ (۳/۲)	۴۳/۵ (۳/۶)	۴۵/۴ (۳/۶)
سویا-اوره-شاه بلوط ۱۰ درصد گلی اکسال	۷۸/۲ (۱/۹)	۹۲/۷ (۳/۶)	۴۴/۳ (۳/۸)	۴۵/۴ (۳/۷)
سویا-اوره-شاه بلوط ۱۵ درصد گلی اکسال	۷۸/۲ (۳/۹)	۹۶/۸ (۶/۹)	۴۶ (۲/۲)	۴۶/۸ (۲/۴)

\* عدد داخل پرانتز نشان‌دهنده اشتباه استاندارد است.

### نتیجه‌گیری

در این پژوهش چسب آرد سویا- تانن در ساخت تخته‌خرده‌چوب مورد استفاده قرار گرفت. نتایج این مطالعه نشان دادند که تانن میموزا (تانن متراکم) و تانن شاه‌بلوط (تانن هیدرولیز شدنی) قابلیت اصلاح و ارتقاء ویژگی‌های چسب سویا مانند کاهش گرانش چسب، افزایش چسبندگی داخلی و ویژگی‌های خمشی را دارند. با توجه به اینکه تانن میموزا به دلیل ماهیت ساختار شیمیایی خود واکنش‌پذیری بیشتری نسبت به تانن شاه‌بلوط دارد اما در این پژوهش تانن شاه‌بلوط در مقایسه با تانن میموزا عملکرد بهتری در کاهش گرانش چسب سویا نشان داد. یکی از دلایل کاهش اثرگذاری تانن میموزا در ترکیب چسب سویا وجود اوره در ترکیب چسب سویای مورد مطالعه بود که سبب گردید تانن میموزا نتواند عملکرد مطلوبی در اصلاح آرد سویا داشته باشد که نمود آن در نتایج آزمون TMA، چسبندگی داخلی و ویژگی‌های خمشی مشخص شد. هم‌چنین باید در نظر داشت که مقادیر بالاتر استفاده از هر دو نوع تانن سبب کاهش ویژگی‌های مکانیکی می‌گردد. در رابطه با ویژگی‌های مکانیکی به‌طور کلی تانن شاه‌بلوط در مقدار ۱۰ درصد و تانن میموزا در مقدار ۵ درصد استفاده بر مبنای وزن

خشک آرد سویا عملکرد مطلوبی نشان دادند. به‌طور کلی می‌توان نتیجه‌گیری کرد که میزان ارتقای ویژگی‌های چسب سویا به نوع تانن، مقدار استفاده از آن‌ها و ترکیب چسب سویا بستگی دارد. نتایج مربوط به مقایسه مقادیر به‌دست‌آمده از آزمون‌های مکانیکی تخته‌ها با مقادیر مشخص شده در استانداردهای EN نشان داد که مقادیر مدول گسیختگی تخته‌های ساخته‌شده با انواع چسب‌های سویا در مقایسه با استاندارد EN-310 (برای شرایط خشک نوع ۱ و ۲) کمتر و مقادیر مدول الاستیسیته آن‌ها بیشتر از حد این استاندارد بود. مقادیر چسبندگی داخلی تخته‌های ساخته‌شده با انواع مختلف چسب سویا بیشتر از مقدار استاندارد EN-319 برای شرایط خشک نوع ۱ بود. در مقایسه با استاندارد EN-319 شرایط خشک نوع ۱ مقدار چسبندگی داخلی تمام تخته‌های ساخته‌شده با انواع چسب سویا بالاتر از حد استاندارد بود ولی در مقایسه با استاندارد EN-319 برای شرایط خشک نوع ۲ تنها ترکیب چسب سویا- تانن شاه‌بلوط (۱۰ درصد) در حد این استاندارد است. هم‌چنین نتایج حاصل از اندازه‌گیری جذب آب و واكشیدگی ضخامت تخته‌ها پس از غوطه‌وری در آب نشان‌دهنده‌ی بالا بودن میزان آن‌ها نسبت به حد استاندارد EN-312 بود.

## منابع

- [1] Ghahri, S., Mohebbi, B., Mirshokraie, S.A. and Mansouri H.R., 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*, Available Online from 04 April. (In Persian).
- [2] Huang, J. and Li, K., 2008. A new soy flour-based adhesive for making interior type II plywood. *Journal of the American Oil Chemists Society*, 85: 63-70.
- [3] Li, X., Li, Y., Zhong, Z., Wang, D., Ratto, J.A., Sheng, K. and Sun, X.S., 2009. Mechanical and water soaking properties of medium density fiberboard with wood fiber and soybean protein adhesive. *Bioresource Technology* 100 (14): 3556–3562.
- [4] Ciannamea, E.M., Stefani, P.M. and Ruseckaite R.A., 2010. Medium-density particleboards from modified rice husks and soybean protein concentrate-based adhesives. *Bioresource Technology*, 101: 818–825.
- [5] Hettiarachchy, N.S., Kalapathy, U. and Myers, D.J., 1995. Alkali-Modified soy protein with improved adhesive and hydrophobic properties. *Journal of the American Oil Chemists Society*, 72(12): 1461-1464.
- [6] 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.
- [7] Allen, A.J., Marcink, J.J., Wagler, T.A. and Sosnowick A.J., 2010. Investigations of the molecular interactions of soy-based adhesives. *Forest Product Journal*, 60 (6): 534–540.
- [8] Zhu, D. and Damodaran, S., 2014. Chemical phosphorylation improves the moisture resistance of soy flour-based wood adhesive. *Journal of Applied Polymer Science*, DOI: 10.1002/APP.40451.
- [9] Steele, P.H., Kreibich, R.E., Steynberg, P.J. and Hemingway R.W., 1998. Finger jointing green southern yellow pine with a soy-based adhesive. *Adhesive Age*, 50 (1): 49–54.
- [10] Kazemi Najafi, S. and Doost Hoseini, K., 2000. The use of Gall flour as the filler of phenol-formaldehyde resin in plywood manufacturing. *Iranian journal of natural resources*, 53 (2): 155-164. (In Persian).
- [11] Torkaman, j., Doost Hosseini, K. and Mirshokraie, S.A., 2003. Spectrophotometrical study on bark's tannin of Alder and Oak trees. *Iranian journal of natural resources*, 56 (3): 271-279. (In Persian).
- [12] Pizzi, A., 2013. Bio adhesives for wood and fibres: A Critical Review, *Reviews of Adhesion and Adhesives*, 1 (1): 88-113.
- [13] Siebert, K.J., Troukhanova, N.V. and Lynn, P.Y., 1996. Nature of polyphenol-protein interactions. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 44, 80-85.
- [14] Rawel, H.M., Czajka, D., Rohn, S. and Kroll, J., 2002. Interactions of different phenolic acids and flavonoids with soyproteins. *International Journal of Biological Macromolecules*, 30 (3): 137-150.
- [15] Guerra-Hernandez, E., Corzo, N. and Garcia-Villanova, B., 1999. Maillard reaction evaluation by furosine determination during infant cereal processing. *Journal of Cereal Science*, 29: 171–176.
- [16] Muoki, P.N., de Kocka, H.L. and Emmambuxa, M.N., 2012. Effect of soy flour addition and heat-processing method on nutritional quality and consumer acceptability of cassava complementary porridges. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 92: 1771–1779.
- [17] Oh, H., Hoff J.E., Armstrong, G.S. and Haff L.A., 1980. Hydrophobic interaction in tannin-protein complexes. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 28: 394-398.

- [18] Yin, B.S., Deglise, X. and Masson, D., 1995. Thermomechanical analysis of wood/aminoplastic adhesives joints cross-linking - UF, MUF, PMUF. *Holzforschung*, 49, 575-580.
- [19] Ma, w., Guo, A., Zhang, Y., Wang, H., Liu, Y. and Li, H., 2014. A review on astringency and bitterness perception of tannins in wine. *Trends in Food Science & Technology*, 40: 1-14.
- [20] Asquith, T.N. and Butler, L.G., 1986. Interactions of condensed tannins with selected proteins. *Phytochemistry*, 25 (7): 1591-1593.
- [21] Jahanshahi, S., Pizzi, A., Abdulkhani, A. and Shakeri, A., 2016. Analysis and testing of bisphenol a—free bio-based tannin epoxy-acrylic adhesives. *Polymers*, 8, 143; doi: 10.3390.
- [22] Spina, S., Zhou, X., Segovia, C., Pizzi, A., Romagnoli, M., Giovando, S., Pasch, H., Rode, K. and Delmotte L., 2013. Phenolic resin adhesives based on chestnut (*Castanea sativa*) hydrolysable tannins. *Journal of Adhesion Science and Technology*, 27: 2103–2111.
- [23] Sealy-Fisher, V.J. and Pizzi, A., 1992. Increased pine tannins extraction and wood adhesives development by phlobaphenes minimization. *Holz als Roh- und Werkstoff*, 50: 212-220.
- [24] Frazier, R.A., Papadopoulou, A., mueller-harvey I., Kissoon, D. and Green R.J., 2003. Probing protein-tannin interactions by isothermal titration microcalorimetry. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51: 5189-5195.
- [25] Cheng, E., Suna, X. and, Gregory, K.S., 2004. Adhesive properties of modified soybean flour in wheat straw particleboard. *Composite part A*, 35, 297–302.
- [26] Frihart, C.R., Birkeland, M.J., Allen, A.J. and Wescott, J.M., 2010. Soy adhesives that can form durable bonds for plywood laminated wood flooring, and particleboard. *Proceedings of the International Convention of Society of Wood Science and Technology and United Nations Economic Commission for Europe – Timber Committee October 11-14, Geneva, Switzerland*, p 1-12.
- [27] Standard Test Method for Determination of Percent Nonvolatile Content of Liquid Phenolic Resins Used for Wood Laminating. *Annual Book of ASTM Standard*, D 4426, 1993.
- [28] Standard test method for density and relative density (specific gravity) of liquids by Bingham pycnometer. *Annual Book of ASTM Standard*, D 1217-93, 1998.
- [29] European Standard EN 326-1. 1993. Wood based panels, Sampling, cutting and inspection. Sampling and cutting of test pieces and expression of test results.
- [30] European Standard EN 310. 1996. Wood based panels, determination of modulus of elasticity in bending and bending strength. *European Standardization Committee*, Brussell.
- [31] European Standard EN 319. 1996. Wood based panels, determination of tensile strength perpendicular to plane of the board. *European Standardization Committee*, Brussell.
- [32] European Standard EN 317. 1993. Particleboard-specification. Particleboards and fibreboards. Determination of swelling in thickness after immersion in water. *European committee for standardization Brussels*.
- [33] European Standard EN 312-9. 1999. Particleboard-specification. Requirements for load-bearing boards for use in dry condition. *European committee for standardization Brussels*

## Use of soy flour-tannin adhesive for particleboard (dry condition)

### Abstract

In this research, soy flour- tannin adhesives were successfully used in particleboard preparation. Two types of tannins i.e. mimosa (as condensed tannin) and chestnut (as hydrolysable tannins) were used for soy resin modification. For this purpose, mimosa and chestnut tannins were added to soy adhesive with 5, 10 and 15 percent based on dry weight of soy flour. 9 percent Glyoxal was used based on dry weight of tannin to accelerate the tannin reaction with soyflour components. Prepared soy-tannin adhesives were used in particleboard manufacturing with 350×300×14 mm<sup>3</sup> dimension and 0.7 g/cm<sup>3</sup> nominal density. Results of viscosity measurement showed that the addition of each tannin decreased viscosity of soy adhesive. In this study, result of thermo-mechanical analysis indicated that chestnut could improve adhesion behavior of soy adhesive better than mimosa. Also, using of tannins in soy adhesive composition increased internal bonding and bending properties in manufactured particleboards.

**Key words:** soy flour adhesive, tannin, thermo-mechanical analysis, internal bonding, particleboard.

S. Ghahri<sup>\*1</sup>  
A. Pizzi<sup>2</sup>  
B. Mohebbi<sup>3</sup>  
A. Mirshokraie<sup>4</sup>  
H.R. Mansouri<sup>5</sup>

<sup>1</sup> PhD, wood-based composites, Department of wood and paper science and technology, Faculty of natural resources and marine sciences, Tarbiat Modares university, Iran

<sup>2</sup> Professor, Laboratoire d'Etude et de recherche sur le matériau bois (LERMAB), University of Lorraine, Epinal 88000, France

<sup>3</sup> Associate Prof., Department of wood and paper science and technology, Faculty of natural resources and marine sciences, Tarbiat Modares university, Iran

<sup>4</sup> Professor, Department of chemistry, Payam nour university, Iran

<sup>5</sup> Assistant Prof., Department of wood and paper science and technology, Zabol university, Iran

Corresponding author:  
[Sghahri@gmail.com](mailto:Sghahri@gmail.com)

Received: 2016/05/03  
Accepted: 2016/10/09

