

## تسریع واکنش‌های خودتراکمی چسب چوب تانن کوبراچو با

### اسید بوریک

- ❖ داود افهامی سیسی؛ دانشجوی دکتری چوب‌شناسی و صنایع چوب، دانشگاه تهران، ایران و دانشگاه مونپولیه، فرانسه
- ❖ یحیی همزه\*؛ استاد گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران
- ❖ ماری فرانس تونن؛ استاد مؤسسه تحقیقات سیراد، مونپولیه، فرانسه
- ❖ علی‌نقی کریمی؛ استاد گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران
- ❖ آنتونیو پیزی؛ استاد مؤسسه انستیب، دانشگاه نانس، اپینال، نانس، فرانسه
- ❖ کامبیز پورطهماسی؛ دانشیار گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران

#### چکیده

چسب چوب تانن کوبراچو نرخ خودتراکمی کندی دارد و در سیستم‌های غیرفرمالدهیدی برای ساخت چندسازه‌های چوبی به زمان پرس طولانی‌تری نسبت به چسب چوب‌های مصنوعی نیاز دارد. در این مطالعه از اسید بوریک برای تحریک و افزایش نرخ خودتراکمی تانن کوبراچو جهت ساخت تخته‌لایه صنوبر استفاده شد. اجزای اصلی چسب عبارت بود از: تانن کوبراچو، هیدروکسید سدیم، هگزامین، اسید بوریک، و ایزوسیانات پلیمری. بررسی ترمومکانیکی چسب‌های ساخته‌شده در فرمول‌های فاقد اسید بوریک نشان داد با افزایش غلظت اولیه تانن از ۴۰ به ۵۰ درصد حداکثر مدول الاستیسیته چسب افزایش درخور توجهی دارد، در حالی که اضافه‌کردن ۲۰ درصد ایزوسیانات بر مبنای وزن خشک تانن تأثیر محسوسی نداشت. اما، اضافه‌کردن اسید بوریک نه تنها زمان و دمای گیرایی چسب را کاهش داد، بلکه مدول الاستیسیته چسب نیز با افزایش درصد اسید بوریک از دو به چهار درصد (بر مبنای وزن خشک تانن) افزایش معنی‌داری داشت. آزمون مقاومت برشی تخته‌لایه‌ها نتایج مطالعات ترمومکانیکی را تأیید کرد. مقادیر مقاومت برشی در فرمول‌های فاقد اسید بوریک نتوانست حداقل‌های لازم در استاندارد EN 314-2 را تأمین کند، در حالی که اضافه‌کردن اسید بوریک باعث افزایش معنی‌دار مقادیر برش‌کششی شد که با افزایش درصد اسید بوریک و تانن روند افزایشی داشت. یافته‌های این تحقیق نشان داد تخته‌های ساخته‌شده با چسب چوب حاوی ۵۰ درصد تانن به همراه ۲ تا ۴ درصد اسید بوریک کیفیت چسبندگی لازم را برای مصارف داخل ساختمان دارند.

واژگان کلیدی: اسید بوریک، ایزوسیانات، برش‌کششی، تانن متراکم کوبراچو، تخته‌لایه صنوبر، ترمومکانیک، خودتراکمی.

## مقدمه

شبکه ای از پیوندهای عرضی فنولیک ایجاد می کنند [۲]. میزان خودتراکمی تانن‌ها مختلف است: تانن میموزا و کوبراچو واکنش‌های خودتراکمی آهسته‌تری در مقایسه با تانن گردوی آمریکایی ( *Carya illinoensis* ) دارند [۵]. گرچه چسب چوب‌های تاننی براساس واکنش‌های خودتراکمی و بدون نیاز به آلدئیدها جهت مصارف داخل ساختمانی به‌خوبی عمل می‌کنند، به‌علت کمبود سرعت خودتراکمی به‌زمان پرس طولانی‌تری نیاز دارند. بدین سبب، کاربرد آن‌ها از نظر اقتصادی مقرون به صرفه نیست [۴، ۵]. خودتراکمی تانن‌های مختلف توسط اسیدهای لوئیس ضعیف، مانند اسید بوریک، کلراید آمونیوم، و سیلیکا، تحریک‌پذیر است [۱، ۴، ۵]. در واقع، اسیدهای لوئیس به‌عنوان منعقدکننده یا نوعی کاتالیزور برای خودتراکمی تانن عمل می‌کنند. نتایج تحقیق بر روی تخته خرده‌چوب ساخته‌شده با چسب تانن میموزا نشان داد سیلیس حل‌شده در قلیا باعث افزایش سرعت واکنش‌های خودتراکمی و، در نتیجه، بهبود چسبندگی داخلی و کاهش زمان پرس می‌شود [۵]. در تحقیق دیگری درباره تخته‌های ساختمانی عایق ساخته‌شده از کنف- که با چسب تانن میموزا/ هگزامین به هم چسبیده شده بودند- وقتی از بوریک اسید به‌عنوان ماده حفاظتی در برابر قارچ استفاده شد، چسبندگی داخلی نیز افزایش یافت [۶]. شایان ذکر است از بوریک اسید به‌عنوان ماده حفاظتی در برابر عوامل مخرب چوب استفاده می‌شود. بورات‌ها بی‌رنگ، بی‌بو، غیرآتش‌زا، و ارزان‌اند و دارای سمیت حاد کم برای پستانداران و جانوران دریایی‌اند، اما در مقابل قارچ‌ها و حشرات سمی و مؤثرند و انحلال‌پذیری زیادی در آب دارند [۷، ۸].

انحلال‌پذیری زیاد اسید بوریک در آب و

تانن‌های متراکم یا فلاونوئیدها منابع تجدیدپذیر مناسبی برای جایگزینی با چسب چوب‌های مشتق‌شده از فرآورده‌های نفتی‌اند [۱، ۲]. به‌طور کلی، دو نوع تانن وجود دارد: ۱. تانن متراکم؛ ۲. تانن قابل هیدرولیز [۲]. بیش از نود درصد تاننی که به‌صورت تجاری تولید می‌شود از نوع تانن متراکم است و از پوست میموزا، چوب کوبراچو، پوست کاج<sup>۳</sup> یا از برگ‌های گامبیر<sup>۴</sup> استخراج می‌شود [۳].

جذابیت استفاده از تانن در صنعت چسب چوب به‌علت واکنش‌پذیری و پیوندهای عرضی آن با فرمالدهید است که دقیقاً شبیه واکنش‌هایی است که می‌توان بین فنل با فرمالدهید ملاحظه کرد. دو روش اصلی برای استفاده از تانن در فرمول چسب وجود دارد: ۱. سیستم فرمالدهیدبنیان؛ ۲. سیستم غیرفرمالدهیدی [۱]. به واکنش تانن با القاکننده‌های آلدئیدی چندتراکمی گفته می‌شود که تاکنون به‌طور گسترده‌ای بررسی و استفاده شده است. میزان انتشار گاز فرمالدهید از این نوع چسب‌ها بسیار کمتر از چسب‌های اوره فرمالدهید و ملامین فرمالدهید است [۱، ۴]. نوع دیگری از واکنش‌های چندتراکمی با القاکننده‌های غیر آلدئیدی از قبیل هگزامین انجام شدنی است. میزان انتشار فرمالدهید از این نوع چسب‌ها صفر در نظر گرفته می‌شود. اما واکنش‌های تانن در غیاب هر گونه القاکننده و تحت شرایط اسیدی یا قلیایی خاص به واکنش‌های خودتراکمی معروف است [۲]. در واکنش‌های خودتراکمی حلقه‌های فنلی باز می‌شود و با سایر واحدهای فلاونوئید

1. *Acacia mollissima* and *Acacia mearnsii*
2. *Schinopsis balansae* and *Schinopsis lorentzii*
3. *Pinus radiata*
4. *Uncaria gambier*

مقدار هگزامین (محلول ۳۳ درصد در آب) استفاده شده به عنوان هاردنر نیز ۶ درصد بر مبنای وزن خشک تانن بود که از شرکت Sigma-Aldrich تهیه شده بود. در این مطالعه فرمول‌های چسب در سه سطح تانن و سه سطح اسید بوریک مطالعه شد. در جدول ۱ اطلاعات بیشتری درباره تیمارها آمده است. در هر سطح از تانن دو تیمار شاهد نیز به منظور بررسی اثر ایزوسیانات و اسید بوریک در نظر گرفته شد (جدول ۱). مقادیر اسید بوریک و چسب ایزوسیانات بر مبنای وزن خشک تانن استفاده شد. سی دقیقه پس از هم‌خوردن چسب، اسید بوریک تهیه شده از شرکت (Sigma-Aldrich) به صورت پودر به سیستم اضافه شد. پس از هم‌زدن، اسیدیته چسب دوباره با هیدروکسید سدیم در محدوده ۱۰ تنظیم شد. در پایان، برای اصلاح چسب، مقدار ۲۰ درصد چسب ایزوسیانات پلیمری شده (Polymeric 4.40-diphenylmethanediisocyanate polymer) به سیستم اضافه شد و پس از مخلوط شدن در فاصله زمانی کمتر از دو ساعت برای ساخت تخته از آن استفاده شد. درصد مواد جامد چسب با روابط ۱ و ۲ و سه بار نمونه‌گیری اندازه‌گیری شد؛ جدول ۱ نتایج آن همراه با درصد اسید بوریک موجود در مایع چسب را نشان می‌دهد.

$$MC\% = \frac{M_1 - M_0}{M_1} \quad (1)$$

$$SC\% = 1 - \frac{MC\%}{100} \quad (2)$$

MC% = درصد رطوبت رزین،  $M_1$  = وزن اولیه چسب،  $M_0$  = وزن ثانویه چسب، SC% = درصد مواد جامد چسب.

آب‌شویی آن از چوب مانع اصلی استفاده وسیع از اسید بوریک به عنوان ماده حفاظتی در صنایع چوب است [۷]. بنابراین، استفاده از اسید بوریک برای تحریک خودتراکمی تانن و استفاده از آن در خط چسب می‌تواند یک خط چسب حفاظتی را معرفی کند. این سیستم فعالیت و تحرک کافی به بور می‌دهد تا فعال باشد، در حالی که آب‌شویی آن را نیز به طور چشمگیری کاهش می‌دهد [۸، ۱۰، ۱۱]. گرچه اثر مثبت اسیدهای لوئیس بر میزان خودتراکمی تانن‌ها اثبات شده است، تاکنون درباره اثر اسید بوریک بر میزان خودتراکمی تانن کوبراچو و خصوصیات ترمومکانیکی چسب و کاربرد آن در ساخت تخته لایه تحقیقی صورت نگرفته است. در این تحقیق سعی شده است با استفاده از مطالعات ترمومکانیکی چسب و بررسی کیفیت اتصال بین لایه‌ها به این موضوع پرداخته شود.

## مواد و روش‌ها

### تهیه چسب

تانن متراکم پوست درخت کوبراچو (*Schinopsis balansae*) که به صورت تجاری در کشور تانزانیا تولید می‌شود، برای تهیه چسب استفاده شد. نخست تانن با غلظت‌های اولیه (درصد خشکی) ۴۰، ۴۵ و ۵۰ درصد به وسیله همزن مکانیکی با سرعت ۵۰۰ دور در دقیقه در آب حل شد. سپس، برای اصلاح اسیدیته محلول، هیدروکسید سدیم (محلول ۵۰ درصد سود در آب) به صورت قطره به قطره تا رسیدن pH محلول به ۱۰ اضافه شد. هیدروکسید سدیم از شرکت VWR prolabo خریداری شده بود. شایان ذکر است میزان بالای pH برای عملکرد مناسب هگزامین لازم است [۶، ۱۲].

جدول ۱. تیمارهای مختلف به همراه درصد مواد جامد و درصد اسید بوریک در چسب

تانن با غلظت اولیه ۰.۴۰٪		تانن با غلظت اولیه ۰.۴۵٪		تانن با غلظت اولیه ۰.۵۰٪	
اسید بوریک در مواد جامد	چسب (%)	اسید بوریک در مواد جامد	چسب (%)	اسید بوریک در مواد جامد	چسب (%)
فقد اسید بوریک و ایزوسیانات	۳۸,۰۲	۴۲,۲۳	-	۴۶,۵۱	-
دارای چسب ایزوسیانات ۲۰٪	۴۰,۱	۴۴,۱۲	-	۴۹,۸۸	-
اسید بوریک ۲٪ + ایزوسیانات ۲۰٪	۴۰,۱۲	۴۴,۵۵	۰,۷۰	۵۰,۳	۰,۷۷
اسید بوریک ۳٪ + ایزوسیانات ۲۰٪	۴۰,۶۳	۴۴,۵۴	۱,۰۵	۵۰,۰	۱,۱۴
اسید بوریک ۴٪ + ایزوسیانات ۲۰٪	۴۰,۸۵	۴۴,۹۶	۱,۴	۵۰,۰۱	۱,۵۲

### تحلیل ترمومکانیکی چسب (TMA)

مدول الاستیسیته چسب‌ها با تحلیلگر گرمایی- مکانیکی<sup>۱</sup> مدل Mettler TMA 40 و با استفاده از نرم‌افزار پردازش داده STARE مطالعه شد. در واقع، TMA روشی برای مطالعه سختی اتصال چوب و چسب به صورت تابعی از دما و زمان است. در این آزمون مقدار مشخصی از چسب بین دو روکش نازک چوب گذاشته شد و مدول الاستیسیته این اتصال در تابعی از دما و زمان به دست آمد که مدول یانگ یا الاستیسیته چسب در نظر گرفته می‌شود [۱۲، ۱۳]. آزمون TMA با افزایش ۱۰ درجه سانتی‌گراد حرارت در هر دقیقه و از دمای ۲۵ درجه تا ۲۵۰ درجه سانتی‌گراد انجام گرفت. مقدار ۳۰ میلی‌گرم چسب بین دو روکش با ابعاد (ضخامت) ۱,۱ × (پهنا) ۵ ×

(طول) ۲۱ میلی‌متر اعمال شد. آزمون خمش سه نقطه‌ای غیر هم‌دما با دهانه بارگذاری ۱۷ میلی‌متر انجام شد. بارگذاری به صورت چرخه ۰,۱ و ۰,۵ نیوتن بود که با فواصل زمانی شش ثانیه بر روی نمونه اعمال می‌شد. حداقل چهار تکرار برای هر چسب تحت شرایط مذکور انجام گرفت. حداکثر مدول الاستیسیته و افزایش آن با توجه به دما و زمان برای هر سیستم چسب نشان‌دهنده عملکرد چسب و مقاومت محصول نهایی در نظر گرفته می‌شود.

### شرایط ساخت تخته‌ها

لایه‌های چوب صنوبر (*Populus deltoides*) به دست آمده با روش لوله‌بری با ضخامت دو میلی‌متر و ابعاد ۴۵ در ۴۵ سانتی‌متر و هوا خشک شده برای ساخت تخته‌ها استفاده شد. میزان چسب استفاده شده ۱۶۰ گرم بر متر مربع برای هر سطح (هر دو سطح

1. Thermo-Mechanical Analyzer

$F_{max}$ : حداکثر نیروی اعمال شده بر حسب نیوتن (N)؛

A: سطح ناحیه آزمون بر حسب میلی‌متر مربع ( $mm^2$ )؛

L: طول ناحیه آزمون میلی‌متر (mm)؛

W: پهناى ناحیه آزمون میلی‌متر (mm).

### تجزیه و تحلیل آماری

تأثیر اضافه‌کردن اسید بوریک و چسب ایزوسیانات بر روی مقاومت برشی با استفاده از تجزیه واریانس یک‌طرفه و در نرم‌افزار SPSS V.15 بررسی شد. گروه‌بندی با آزمون دانکن و در فاصله اطمینان ۹۵ درصد انجام شد. آزمون تجزیه واریانس دوطرفه نیز برای بررسی اثر درصد تانن و اسید بوریک و اثر متقابل آنها انجام گرفت.

### بحث و نتایج

شکل ۱ الف نتایج آزمون TMA برای تعدادی از فرمول‌های فاقد اسید بوریک را نشان می‌دهد. نمودارهای TMA نشان‌دهنده افزایش مدول الاستیسیته با افزایش دما تا یک حداکثر گسترده و سپس کاهش شدید آن است. این کاهش برای همه فرمول‌ها در محدوده دمایی ۱۷۵ - ۱۸۰ درجه سانتی‌گراد اتفاق افتاد که به سبب شروع تجزیه ترکیبات چوبی است [۱۳، ۱۶]. اولین پیک برای مدول الاستیسیته با مقادیر متفاوت برای چسب‌های مختلف در محدوده دمایی ۱۰۰ - ۱۲۵ درجه سانتی‌گراد حاصل شد. این مقادیر در دامنه زمانی و دمایی مشاهده شده برای سایر تانن‌های متراکم است [۱۳]. چسب چوب حاوی ۴۰ درصد تانن، حتی با وجود ۲۰ درصد ایزوسیانات، حداکثر مدول

لایه) بود که به صورت دستی اعمال شد. روکش چسب‌خورده در میان دو روکش چسب‌نخورده به صورت عمود بر راستای الیاف آنها قرار گرفت و به مدت پنج دقیقه در شرایط دمای اتاق رها شد تا برای پرس آماده شود. سپس، فشار پرس ۱/۲ نیوتن بر متر مربع در دمای ۱۵۰ درجه سانتی‌گراد و برای شش دقیقه اعمال شد. سه تخته از هر چسب ساخته شد و پس از یک هفته برای بررسی کیفیت اتصال بین لایه‌ها طبق استاندارد EN 326-1 به ابعاد آزمونی [۱۴] بریده شد.

### آزمون برش کششی

آزمون برش کششی طبق استاندارد N 314-1 انجام گرفت [۱۵]. بیست نمونه برای آزمون برش خط چسب انتخاب شد و به مدت یک هفته در دمای  $20 \pm 2$  سانتی‌گراد و رطوبت نسبی  $65 \pm 5$  درصد قرار گرفت. نیمی از نمونه‌ها، پس از مشروط‌سازی، به مدت ۲۴ ساعت در آب ۲۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند. سپس، آزمون بر روی آنها انجام گرفت. ابعاد ناحیه برش پیش از آزمون برای همه نمونه‌ها اندازه‌گیری شد. آزمون‌ها با استفاده از دستگاه آزمون مواد مدل Instron 4467 انجام گرفت. سرعت بارگذاری یک میلی‌متر در دقیقه بود. نیروی حداکثر ثبت شد و با استفاده از رابطه ۳ به عنوان مقاومت برش کششی و با واحد مگاپاسکال (یک نیوتن بر میلی‌متر مربع) گزارش شد. بارگذاری تا زمان شکست نمونه ادامه یافت.

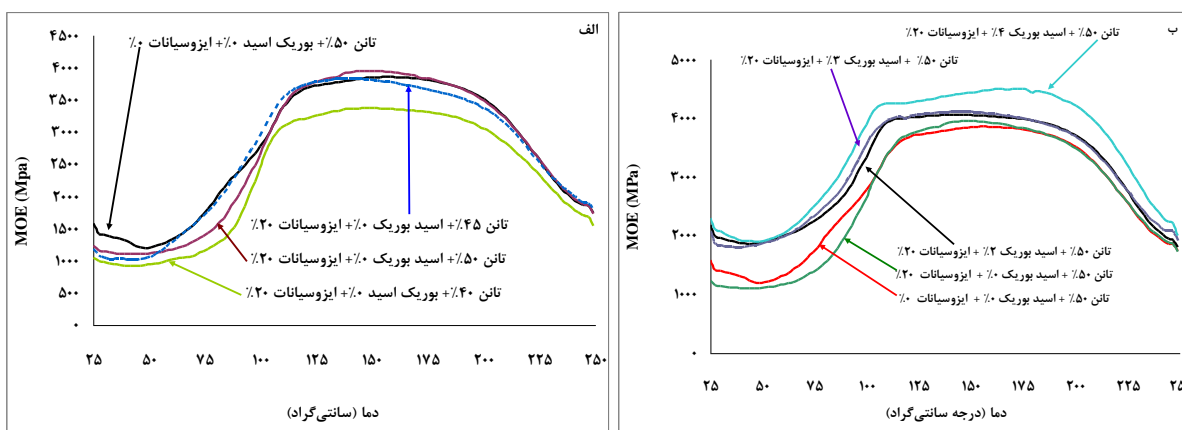
$$T = \frac{F_{max}}{A} = \frac{F_{max}}{L \times W} \quad (3)$$

T: مقاومت برش کششی بر حسب مگاپاسکال (Mpa)؛

مصارف بیرونی و براساس واکنش‌های پلیمریزاسیون با فرمالدهید (تانن فرمالدهید) استفاده شد. نتایج نشان داد برای مصارف بیرونی تخته‌هایی با ضخامت ۱۰ و ۱۲ میلی‌متر نیازی به اضافه کردن ایزوسیانات نیست، در حالی که اضافه کردن ایزوسیانات از ۵ تا ۳۰ درصد مقاومت‌ها را به‌طور منظم افزایش می‌دهد. برای مصارف داخل ساختمان نیازی به هاردنر فرمالدهیدی نیست و واکنش‌های خودتراکمی با استفاده از هگزامین کافی است [۱۷].

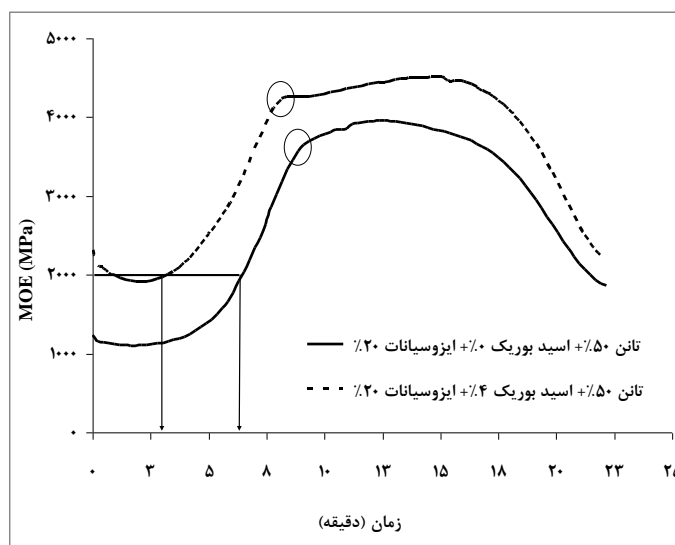
در شکل ۱ ب نمودارهای TMA فرمول‌های مختلف چسب در سطح تانن ۵۰ درصد بررسی شده است. روند کلی نمودارها تقریباً یکسان است، اما، مدول الاستیسیته با اضافه کردن اسید بوریک به داخل سیستم افزایش محسوسی داشته است. حداکثر مدول الاستیسیته متعلق به چسب حاوی ۴ درصد اسید بوریک بود (۴۵۱۱ مگاپاسکال). به‌صورت مشخص، واکنش‌های خودتراکمی در مقایسه با حالت بدون اسید بوریک در دمای پایین‌تری شروع می‌شوند و سرعت بیشتری دارند (شکل ۲).

الاستیسیته بسیار کمتری (۳۳۴۷ مگاپاسکال) نسبت به چسب چوب حاوی ۵۰ درصد تانن فاقد ایزوسیانات (۳۸۶۱ مگاپاسکال) داشت. تأثیر افزودن چسب ایزوسیانات چندان درخور توجه نبود؛ طوری که حداکثر مدول الاستیسیته با ۵۰ درصد تانن و ۲۰ درصد ایزوسیانات ۳۹۵۵ مگاپاسکال بود. اضافه کردن چسب ایزوسیانات یا چسب فنل فرمالدهید به‌منظور بهبود مقاومت‌های چسب چوب تانن انجام می‌گیرد و هم‌اکنون از آن به‌صورت تجاری استفاده و از آن به‌عنوان کوپلیمریزاسیون<sup>۱</sup> یاد می‌شود [۱۳، ۱۷]. معمولاً از مقدار ایزوسیانات استفاده‌شده براساس وزن خشک تانن تا ۳۰ درصد نیز استفاده می‌شود. در تحقیقی بر روی تانن *Acacia Nilotica* اضافه کردن ۱۰ و ۲۰ درصد ایزوسیانات پلیمری تأثیری در مدول الاستیسیته چسب نداشته است، در حالی که با افزایش درصد ایزوسیانات از ۲۰ به ۳۰ درصد مدول الاستیسیته افزایش معنی‌داری داشته است [۱۳]. در تحقیق دیگری از تانن کاج برای ساخت تخته خرده‌چوب جهت



شکل ۱. نتایج آزمون TMA، نمودارهای میانگین مدول الاستیسیته فرمول‌های مختلف چسب به‌عنوان تابعی از دمای گیرایی چسب. الف) چسب‌های فاقد اسید بوریک در غلظت‌های مختلف تانن؛ ب) چسب‌هایی با غلظت ثابت تانن (۵۰ درصد)

## 1. Co-polymerization

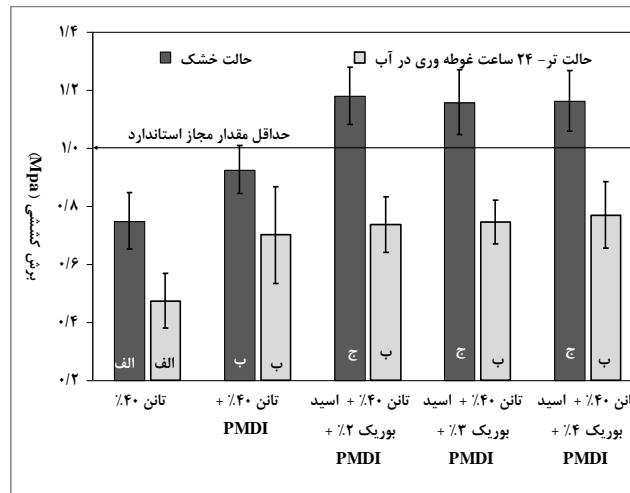


شکل ۲. نتایج آزمون TMA، نمودارهای میانگین مدول الاستیسیته در سطح تانن ۵۰ درصد به‌عنوان تابعی از زمان گیرایی چسب

و اسید بوریک (BA) تأثیر افزایشی و معنی‌داری بر برش کششی لایه‌ها در حالت خشک داشت. در حالت تر، آزمون دانکن همه چسب‌های حاوی ایزوسیانات را در یک گروه قرار داده است. نکته حائز اهمیت استاندارد نبودن میانگین مقادیر تنش برشی هیچ یک از فرمول‌های مختلف چسب در سطح تانن ۴۰ درصد برای برآورد انتظارات استاندارد اروپایی [۱۸] است. طبق این استاندارد، علاوه بر میزان کشش برشی، مقادیر شکست چوب در ناحیه آزمون نیز اهمیت دارد. در این استاندارد، حداقل مقاومت مجاز در صورت کم‌بودن شکست چوب در ناحیه آزمون باید ۱ مگاپاسکال باشد و این مقدار در همه پیش‌تیمارهای قبل از آزمون یکسان است (خشک یا تر). همان‌طور که در شکل ۳ ملاحظه می‌شود، اگرچه مقادیر حالت خشک بیش از حداقل مقدار استاندارد است، در حالت تر با توجه به شکست اندک چوب در ناحیه آزمون مقدار مقاومت برشی پذیرفتنی نیست.

همان‌طور که در شکل ۲ ملاحظه می‌شود، با اضافه‌کردن اسید بوریک، برای دستیابی به یک مدول الاستیسیته معین زمان کمتری لازم است. به‌عبارت دیگر، اولین پیک نیز بر روی نمودارهای TMA در زمان کوتاه‌تری شکل می‌گیرد (محدوده‌های نشان‌داده‌شده داخل دایره‌ها). پیازی و همکاران با اندازه‌گیری زمان ژله‌ای شدن چسب اعلام کردند که اسیدهای لوئیس ضعیف همانند  $\text{SiO}_2$ ،  $\text{AlCl}_3$  و  $\text{H}_3\text{BO}_3$  حتی در دمای اتاق نیز باعث تسریع ژله‌ای شدن تانن و شروع واکنش‌های خودتراکمی می‌شوند که از طریق بازکردن حلقه‌های فلاونوئید و پیوندهای بین آن‌ها صورت می‌گیرد [۵].

شکل ۳ نتایج آزمون برش کششی تخته‌ها را نشان می‌دهد. نتایج آزمون برش کششی طبق استاندارد EN 314-2 به‌عنوان نشان‌دهنده کیفیت چسبندگی بین لایه‌ها در نظر گرفته می‌شود و از پارامترهای مهم فرآورده‌های لایه‌ای است. در سطح تانن ۴۰ درصد، افزودن چسب ایزوسیانات (PMDI)



شکل ۳. نتایج آزمون برش کششی برای سطح تانن ۴۰ درصد (حروف داخل ستون‌ها نشان‌دهنده نتایج گروه‌بندی دانکن است).

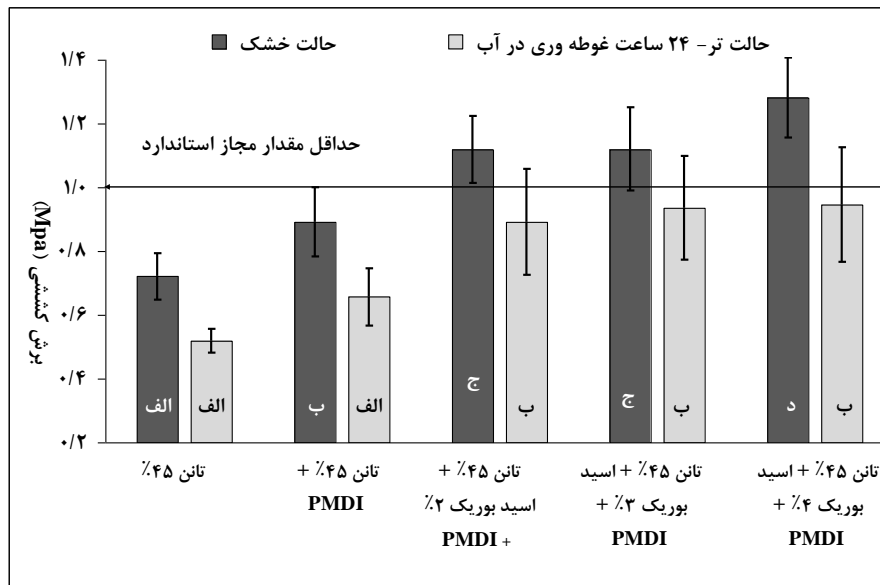


شکل ۴. میزان شکست چوب در محل آزمون تعدادی از نمونه‌های چسب ۴۰ درصد تانن + ۴ درصد اسید بوریک + ایزوسیانات - الف) در حالت خشک؛ ب) در حالت تر

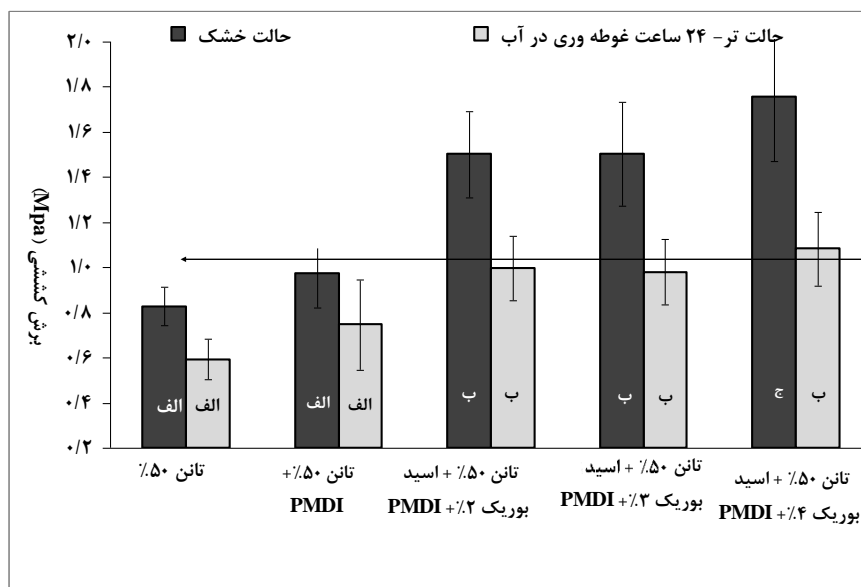
تانن و همین‌طور اثر متقابل آن‌ها تأثیر معنی‌داری در مقاومت برش کششی نمونه‌ها داشت. در سطح تانن ۴۵ درصد نیز گرچه میانگین مقاومت برشی خیس نمونه‌ها کمتر از تعریف استاندارد بود، در چسب‌های حاوی اسید بوریک نیمی از نمونه‌ها دارای مقاومت بالاتر از استاندارد بودند.

شکل ۵ نتایج آزمون تنش برشی را برای چسب‌های سطح تانن ۴۵ درصد نمایش می‌دهد. آزمون دانکن، بعد از غوطه‌وری نمونه‌ها در آب، هیچ اختلاف معنی‌داری بین چسب‌های فاقد ایزوسیانات و دارای ایزوسیانات را نشان نداد و آن‌ها را در یک گروه قرار داد. شایان ذکر است، طبق نتایج آزمون تجزیه واریانس دوطرفه، درصد اسید بوریک و درصد





شکل ۵. نتایج آزمون برش کششی برای سطح تانن ۴۵ درصد (حروف داخل ستون‌ها نشان‌دهنده نتایج گروه‌بندی دانکن است).



شکل ۶. نتایج آزمون برش کششی برای سطح تانن ۵۰ درصد (حروف داخل ستون‌ها نشان‌دهنده نتایج گروه‌بندی دانکن است).

شده است. برخلاف سطوح تانن ۴۰ درصد و ۴۵ درصد، سطح ۵۰ درصد چسب‌های حاوی اسید بوریک حداقل‌های استاندارد [۲۰] را برای مصارف داخلی بدون توجه به وضعیت شکست تأمین می‌کنند.

شکل ۶ نتایج آزمون برش کششی برای سطح تانن ۵۰ درصد را نشان می‌دهد. بین حالت دارای ایزوسیانات و فاقد ایزوسیانات در حالت تر و خشک اختلاف معنی‌داری وجود ندارد، در حالی که اضافه کردن اسید بوریک باعث افزایش مقاومت‌ها

### نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج این تحقیق، استفاده از اسید بوریک تأثیر مثبتی در سرعت گیرایی و خودتراکمی تانن کویراچو داشت؛ این امر از نظر اقتصادی و کاهش زمان پرس حائز اهمیت است. برش کشتی خط چسب نیز با افزایش درصد تانن و اسید بوریک افزایش معنی‌داری داشت، در حالی که مقدار ایزوسیانات مصرف‌شده در مقاومت چسب و برش کشتی تأثیر محسوسی نداشت. دلیل استفاده از ایزوسیانات در این مطالعه ساخت تخته‌هایی مناسب برای شرایط مرطوب بود. متأسفانه، با تکیه بر واکنش‌های خودتراکمی تانن و کوپلیمریزاسیون آن با ایزوسیانات محقق نشد. از این رو، پیشنهاد می‌شود جهت ساخت تخته برای محیط خشک و داخل ساختمان نیازی به کاربرد ایزوسیانات نیست و با تکیه بر واکنش‌های خودتراکمی می‌توان به حداقل مقاومت‌های استاندارد دست یافت.

نتایج تحقیق حاضر با یافته‌های محققان دیگر درباره تخته‌لایه گونه کاج و چسب تانن میموزا/نشاسته ذرت- که از ترکیبات بوراتی به‌عنوان ماده حفاظتی در خط چسب استفاده کرده بودند- در تقابل بود. دوام طبیعی تخته‌لایه گونه کاج حتی با اضافه‌کردن ۰/۵ درصد بوراکس افزایش درخور توجهی داشته است، اما، میزان تنش برشی لایه‌ها با افزایش درصد بوراکس کاهش معنی‌داری یافته است که به کاهش اسیدیتته چسب و، در نتیجه، کاهش ویسکوزیتته آن در چسب‌های حاوی نشاسته نسبت داده شده است [۱۹]. عدم حضور نشاسته در تحقیق حاضر و همچنین تعدیل دوباره اسیدیتته چسب پس از اضافه‌کردن اسید بوریک باعث شد کیفیت اتصال لایه‌ها به دلیل تسریع واکنش‌های خودتراکمی افزایش یابد.

## References

- [1]. Pizzi, A. and Mittal, K.L. (2003). Handbook of Adhesive Technology, Marcel Dekker INC Press. 1036pp.
- [2]. Pizzi, A. (2006). Recent developments in eco-efficient bio-based adhesives for wood bonding: opportunities and issues. Journal of Adhesion Science and Technology, 20(8): 829-846.
- [3]. Tondi, G. and Pizzi, A. (2009). Tannin-based rigid foams: characterization and modification. Industrial Crop and Products, 29(2-3): 356-363.
- [4]. Meikleham N, Pizzi, A. and Stephanou A. (1994). Induced accelerated autocondensation of polyflavonoid tannins for phenolic polycondensates I. <sup>13</sup>C-NMR, <sup>29</sup>Si-NMR, X-ray, and polarimetry studies and mechanism. Journal of Applied Polymer Science, 54(12): 1827-1845.
- [5]. Pizzi, A., Meikleham, N., Dombo, B. and Roll, W. (1995). Autocondensation-based, zero-emission, tannin adhesives for particleboard. Holz als Roh- und Werkstoff, 53(3): 201-204.
- [6]. Theis, M. and Grohe, B. (2002). Biodegradable lightweight construction boards based on tannin/hexamine bonded hemp shaves. Holz Roh Werkst, 60(4): 291-296.
- [7]. Caldeira, F. (2010). Boron in wood preservation: a review in its physico-chemical aspects. Silva Lusitana, 18(2): 179-196.
- [8]. Thevenon, M.F., Tondi, G. and Pizzi, A. (2010). Environmentally friendly wood preservative system based on polymerized tannin resin-boric acid for outdoor applications. Maderas Ciencia y Tecnología, 12(3): 253-257.
- [9]. Pizzi, A., and Baecker, A. (1996). A new boron fixation mechanism for environment friendly wood preservatives. Holzforschung, 50 (6): 507-510.
- [10]. Tondi, G., Wieland, S., Lemenager, N., Petutschnigg, A., Pizzi, A. and Thévenon, M.F. (2012a). Efficacy of tannin in fixing boron in wood: fungal and termites resistance. BioResources, 7(1): 1238-1252.
- [11]. Tondi, G., Palanti, S., Wieland, S., Thevenon, M. F., Petutschnigg, A. and Schnable, T. (2012b). Durability of tannin-boron-treated timber. BioResources 7(4): 5138-5151.
- [12]. Moubarik, A., Mansouri, H. R., Pizzi, A., Charrier, F., Allal, A. and Charrier, B. (2013). Corn flour-mimosa tannin-based adhesives without formaldehyde for interior particleboard production. Wood Science and Technology, 47(4): 675-683.
- [13]. Osman, Z. (2012). Thermomechanical analysis of the tannins of *Acacia Nilotica* spp. *Nilotica* as a rapid tool for the evaluation of wood-based adhesives. Journal of Thermal Analysis and Calorimetry, 107(2): 709-716.
- [14]. EN 326-1 (1994) .Wood-based panels- Sampling, cutting and inspection - Part 1: Sampling and cutting of test pieces and expression of test results. 10 pp.
- [15]. EN 314-1, (2004). Plywood, bonding quality, Part 1: Test Methods. 18 pp.
- [16]. Kamoun, C., Pizzi, A. and Garcia, R. (1998). The effect of humidity on cross-linked and entanglement networking of formaldehyde-based wood adhesives. Holz Roh Werkst, 56:235-243.
- [17]. Valenzuela, J., von Leyser, E., Pizzi, A., Westermeyer, C. and Gorrini, B. (2012). Industrial production of pine tannin-bonded particleboard and MDF. European Journal of Wood and Wood Products, 70(5): 735-740.

- [18]. EN 314-2 (1993). Plywood, bonding quality, Part 2: Requirements. 12pp.
- [19]. Moubarik, A., Charrier, B., Charrier, F., Antonio, A. and Allal, A. (2009). Evaluation of decay resistance of wood products made from borax-impregnated wood and bonded with a formaldehyde-free cornstarch and tannin adhesive. *Annals of Forest Science*, 66(1): 109.
- [20]. EN 636 (2003). Plywood – Specifications. 12pp.