

## بررسی اثر فشرده‌سازی بافت نخل بر ویژگی‌های سطحی و کیفیت پوشش دهی آن با پوشش‌های پایه آب و پایه حلال جهت کاربرد در مبلمان

### چکیده

در این تحقیق، اثر فشرده‌سازی بافت نخل بر کیفیت پوشش دهی آن مورد بررسی قرار گرفت. از تنه نخل نمونه‌هایی به ابعاد  $10 \times 5$  سانتی‌متر با ضخامت‌های ۲، ۲/۳ و ۲/۵ سانتی‌متر تهیه و به‌منظور رسیدن به رطوبت تعادل ۱۲ درصد در شرایط اتاق کلیما (دمای  $20 \pm 2$  درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۶۵ درصد) قرار داده شدند. فشرده‌سازی نمونه‌ها طی سه مرحله گرم کردن، فشرده‌سازی و تیمار بخار انجام شد. سپس پوشش دهی با پوشش‌های آلکیدی، پلی‌یورتان پایه حلال و پلی‌یورتان پایه آب صورت پذیرفت و جهت ارزیابی ویژگی‌ها، از آزمون‌های رنگ سنجی، زبری سطح و چسبندگی کششی استفاده شد. بر اساس نتایج رنگ‌سنجی، در اثر فشرده‌سازی، میزان روشنی در تمام نمونه‌ها کاهش یافت. همچنین، پس از پوشش دهی میزان روشنی نمونه‌ها کاهش و میزان زردی و قرمزی نمونه‌ها افزایش یافت. بررسی آماری نشان داد اختلاف معناداری در پارامتر روشنایی ( $L^*$ ) میان نمونه شاهد و فشرده‌سازی شده ۱۰ درصد و ۲۰ درصد با پوشش پلی‌یورتان پایه آب وجود دارد. نتایج آزمون زبری نشان داد، در اثر فشرده‌سازی و پوشش دهی میزان زبری تمامی نمونه‌ها کاهش یافت و بهترین عملکرد مربوط به نمونه فشرده‌سازی شده ۱۰ درصد با پوشش پلی‌یورتان پایه حلال بود که به‌طور متوسط ۴ برابر زبری کمتری نسبت به نمونه شاهد داشت. بر اساس نتایج آزمون چسبندگی کششی، میزان این پارامتر در تمامی تیمارها با افزایش درصد فشرده‌سازی افزایش یافت و بیشترین میزان در نمونه‌های فشرده‌سازی شده به میزان ۱۰ درصد مشاهده گردید. به‌عبارت‌دیگر، در اثر فشرده‌سازی و انسجام بافت نخل میزان زبری سطح کاهش یافته و به دلیل نفوذ بهتر پوشش و همچنین استحکام الیاف در اثر فشرده‌سازی در نمونه فشرده‌سازی شده تا ۱۰ درصد میزان مقاومت به چسبندگی بهبود یافته است.

**واژگان کلیدی:** پوشش، رنگ‌سنجی، فشرده‌سازی، نخل، چسبندگی، زبری.

### مقدمه

تاریخچه مصرف چوب نشان می‌دهد نخستین استفاده‌های صنعتی انسان از چوب در خانه‌سازی، کشتی‌سازی و ساخت سایر سازه‌ها و محصولات چوبی بوده است.

در اثر استفاده بیش‌ازحد، قطع درختان و افزایش تقاضا برای این ماده اولیه ارزشمند، بازار دچار کمبود چوب شده و در نتیجه قیمت آن افزایش یافته است. چندین سال است

هادی غلامیان<sup>۱\*</sup>  
بهنام غلامپور<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup> استادیار گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران

<sup>۲</sup> دانشجوی کارشناسی ارشد بیولوژی و آناتومی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران

مسئول مکاتبات:

[Hadi\\_gholamiyan@ut.ac.ir](mailto:Hadi_gholamiyan@ut.ac.ir)

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۹/۰۵

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۱۲/۰۵

فشار (فشرده‌سازی)، روی چوب اشباع‌شده با ماده سیال و یا ترکیب این دو روش افزایش می‌یابد. فرآیند فشرده‌سازی چوب برای اولین بار در سال ۱۹۳۰ در آلمان تحت عنوان تجاری لیگنوستون<sup>۳</sup> معرفی شد. این فرآیند امروزه در کشور سوئد برای حدود ۲۰ گونه‌ی چوبی با همان روش اولیه استفاده می‌شود [۱۳]. ایده‌ی فشرده‌سازی چوب در جهت طولی برای بهبود خواص خمشی در دهه ۱۹۳۰ میلادی توسعه یافت [۱۴]. در فرآیند فشرده‌سازی چوب بخش زیادی از فضاهای خالی یا حفره‌های سلولی بافت چوب توسط خود ماده چوبی جایگزین می‌گردد. در این فرآیند، عناصر سازنده چوب از جمله آوندها و فیبرها در هم فرورفته، تخلخل چوب کاهش و وزن مخصوص آن افزایش می‌یابد و از این طریق برخی خصوصیات مکانیکی چوب از جمله مقاومت به سایش بهبود می‌یابد. حجم منافذ و حفرات سلولی چوب از طریق متراکم کردن چوب در جهت عرضی کاهش یافته و در نتیجه دانسیته افزایش می‌یابد. تاکنون مطالعات گسترده‌ای در زمینه‌ی فشرده‌سازی انجام شده است که نتایج نشان‌دهنده افزایش سختی، مقاومت‌های مکانیکی [۱۵، ۱۳]، چگالی و مدول کشسانی [۱۶]، مدول گسیختگی، مدول الاستیسیته و قدرت نگهداری میخ و پیچ [۱۸، ۱۷]، سختی برینل [۱۹]، دانسیته [۲۰]، مقاومت خمشی [۲۱] و چقرمگی [۲۲] بود. تحقیقات Nedelkoska و همکاران (۲۰۱۹) و Subyakto و همکاران (۱۹۹۸) در خصوص تأثیر فشرده‌سازی بر مقاومت‌های پوشش‌ها نشان داد در اثر فشرده‌سازی میزان مقاومت به چسبندگی پوشش‌ها افزایش می‌یابد [۲۳، ۲۴]. امروزه استفاده از پوشش‌ها و رنگ‌های مصنوعی در سازه‌های چوبی و مبلمان‌های شهری بسیار رواج یافته است و هدف اصلی استفاده از آنها، ایجاد زیبایی بصری و حفاظت و افزایش طول عمر سازه چوبی می‌باشد [۲۵]. از پوشش‌های رایج سیلر، کیلر و پلی‌استر در ساخت مبلمان چوبی در کشور استفاده می‌شود که تحقیقات زیادی بر روی خواص ظاهری و میزان مقاومت چسبندگی این نوع پوشش انجام شده است [۲۶، ۲۷، ۲۸]. با توجه به اینکه استفاده از بافت نخل روغنی (OPW) برای تولید

که بشر تلاش می‌کند به روش‌ها و شیوه‌های گوناگون محصول یا فرآورده چوبی را تولید نماید تا بتواند جایگزین چوب گردد [۱]. مواد لیگنوسلولزی که می‌توانند جایگزین چوب شوند عبارتند از: ضایعات بخش کشاورزی مانند کنف، باگاس یا ساقه نیشکر، ضایعات هرس بخش کشاورزی و ضایعات حاصل از هرس سالیانه نخل خرما و یا سایر قسمت‌های بافت‌های گیاهی [۲]. ماده حاصل از تنه درخت خرما به‌عنوان یک ماده سلولزی تجدید پذیر و جایگزین، منبع مناسبی برای تأمین ماده اولیه صنایع می‌باشد [۳]. برخلاف آنچه در چوب درختان پهن‌برگ و سوزنی‌برگ مشاهده می‌شود، ساختار بافت نخل خرما به‌عنوان یک گیاه تک‌لپه‌ای کاملاً متفاوت بوده زیرا تنه نخل از تجمع دمبرگها با ساختار آناتومی منحصربه‌فرد حاصل شده است. نخل خرما فاقد حلقه‌ی کامبیزم و دوایر رویشی بوده و از دسته‌های آوندی در یک بافت پارانشیم تشکیل شده است [۴]. جنوب کشور ایران به دلیل وضعیت آب و هوایی، شرایط مناسبی را برای رشد این‌گونه ایجاد کرده، به‌طوری‌که طبق گزارش فائو (FAO) بیش از ۲۸ میلیون درخت نخل خرما در ایران وجود دارد [۳]. تاکنون مطالعات بسیاری در زمینه نخل خرما انجام شده که از مهم‌ترین آن‌ها می‌توان به استفاده از ضایعات نخل در تهیه تخته خرده چوب [۵، ۷، ۶]، چوب پلاستیک [۸] و مطالعه مقاومت فشاری آن [۹] اشاره نمود. همچنین، از ضایعات هرس درختان نخل به‌منظور ساخت فرآورده‌های مرکب چوبی و در صنعت مبلمان استفاده می‌شود [۱۰]. آشنایی با خواص فیزیکی، مکانیکی و شیمیایی انواع مواد اولیه مورد مصرف در صنایع چوب باعث شناخت بهتر و شناسایی کاربردها و خواص ذاتی آن‌ها می‌شود به‌عنوان مثال: بیشتر خواص مکانیکی چوب با دانسیته آن متناسب هستند [۱۱، ۱۲]، بنابراین چوب‌هایی که دانسیته بالایی دارند برای کاربردهایی که در آن مقاومت‌های مکانیکی اهمیت دارد، مانند عضوهای ساختمانی، کف‌پوش‌ها، مبلمان و غیره، بیشتر مورد تقاضا می‌باشند. یکی از روش‌های بهبود ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی چوب درختان تند رشد و سبک، اصلاح از طریق افزایش دانسیته آن‌ها می‌باشد که در آن دانسیته‌ی چوب با اعمال

<sup>2</sup> Densification

<sup>3</sup> lignostone

<sup>1</sup> Phoenix dactylifera

### تیمار فشرده‌سازی

فشرده‌سازی سطحی نمونه‌ها طی سه مرحله انجام شد. در ابتدا برای گرم کردن بافت، از یک پرس گرم (بدون اعمال فشار) در دمای ۱۶۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۶ دقیقه استفاده شد. پس از مرحله نرم کردن بافت، فشرده‌سازی با استفاده از یک پرس داغ در دمای ۱۶۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۳ دقیقه در فشار ۲۰ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع انجام شد. برای کاهش بازیابی شکل در نمونه‌های فشرده‌شده، از بخار اشباع در دمای حداقل ۱۲۰ درجه سانتی‌گراد و فشار ۱/۲ اتمسفر به مدت ۲۰ دقیقه استفاده شد.

### پوشش دهی نمونه‌ها

جهت پوشش دهی نمونه‌ها از سه نوع پوشش پلی یورتان پایه حلال، پلی یورتان پایه آب و آلکیدی (جدول ۱ و ۲) استفاده شد. پوشش‌ها با استفاده از قلم‌مو بر روی نمونه‌ها اعمال شد و تا پیش از انجام آزمون‌ها به اتاق کلیما انتقال داده شد. مشخصات و گروه‌بندی تیمارها به همراه کدهای اختصاصی در جدول ۳ نشان داده شده است.

### دانشیته

اندازه‌گیری میزان تغییرات دانشیته در اثر فشرده‌سازی، مورد محاسبه قرار گرفت [۲۸].

میلان و سایر محصولات باارزش افزوده در کشورهای مالزی و اندونزی بسیار رایج است، بنابراین نیاز به مطالعات بیشتر جهت امکان پوشش دهی نخل فشرده‌سازی شده جهت کاربرد در گونه نخل بومی دیده می‌شود [۲۹]؛ بنابراین با توجه به کمبود ماده اولیه چوبی در ایران و احتمال استفاده از بافت نخل خرما در ساخت سازه‌های میلان، بررسی و تحقیق در مورد خواص پوشش دهی و فشرده‌سازی مورد نیاز کشور است. هدف این تحقیق بررسی تأثیر فرآیند فشرده‌سازی بر پوشش دهی تخته‌های تهیه‌شده از تنه نخل خرما می‌باشد.

### مواد و روش‌ها

#### ماده اولیه لیگنوسلولزی مصرفی

از تنه‌ی خشک‌شده نخل (به مدت ۲ سال در هوای آزاد) به‌عنوان ماده اولیه استفاده شد. سپس نمونه‌هایی به ابعاد اولیه ۵ × ۱۰ × ۴۰ سانتی‌متر برش داده شد و برای رسیدن به رطوبت تعادل ۱۲ درصد داخل اتاق کلیما (دمای ۲۰ ± ۲ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۶۵ درصد) به مدت ۲ هفته قرار گرفت. در نهایت نمونه‌ها طی برش ثانویه به ابعاد ۵ × ۱۰ سانتی‌متر با ضخامت‌های ۲/۲، ۳/۵ و ۲ سانتی‌متر تبدیل و آماده فشرده‌سازی و پوشش دهی شدند.

جدول ۱- مشخصات فنی پوشش پلی‌اورتان

نوع پوشش	پلی اورتان پایه آب	پلی اورتان پایه حلال
درصد ماده جامد	٪۳۲	٪۳۵
درجه شفافیت	براق ۶۰°	براق ۹۵°
زمان خشک شدن	جهت سنباده‌زنی: ۲ الی ۳ ساعت	۲ الی ۳ ساعت
میزان پوشش دهی	خشکی کامل: ۷ روز	خشکی کامل: ۷ روز
نحوه تمیز کردن	آب	۸ الی ۱۰ m۲
دمای نگهداری	خشک: استون	تینر فوری پلی‌یورتان
	۵ الی ۲۵ °C و تا رطوبت ۶۵ درصد	۵ الی ۲۵ °C و تا رطوبت ۶۵ درصد

جدول ۲- مشخصات فنی پوشش آلکیدی

کیلر	سیلر	رزین نیترو سلولز محلول
درصد اجزاء	اجزاء ترکیبی	
۳۰	۳۰	نیترو سلولز E-950 (IPA ۳۰٪)
۲۲	۲۰	بوتیل استات
۱۰	۱۰	استن
۷	۷	بوتیل سلوس
۱۴	۱۶	زایلین
۱۱	۱۲	تولونن
۶	۵	ایزوپروپیل الکل
۲۵۰-۱۰۰ پواز	۳۸۰-۱۶۰ پواز	ویسکوزیته (در ۲۵ درجه سانتی‌گراد به روش بروکفیلد)
۱±۳۰	۱±۲۱	درصد جامد
۰/۹۴ ± ۰/۰۱	۰/۹۴ ± ۰/۰۱	دانسیته (در ۲۵ درجه سانتی‌گراد)
حداکثر ۳	حداکثر ۳	رنگ (گاردرنر)
≥۲۰	≥۲۰	نقطه اشتعال

جدول ۳- جدول تیمار فشرده‌سازی و پوشش‌ها

تعداد تکرار	کد تیمار	تیمار	نوع پوشش
۳	C	شاهد	
۳	C10	فشرده‌سازی ۱۰ درصد	بدون پوشش
۳	C20	فشرده‌سازی ۲۰ درصد	
۳	W	شاهد	
۳	W10	فشرده‌سازی ۱۰ درصد	پلی یورتان بر پایه آب
۳	W20	فشرده‌سازی ۲۰ درصد	
۳	P	شاهد	
۳	P10	فشرده‌سازی ۱۰ درصد	پلی یورتان پایه حلال
۳	P20	فشرده‌سازی ۲۰ درصد	
۳	AC	شاهد	
۳	A10	فشرده‌سازی ۱۰ درصد	آلکیدی
۳	A20	فشرده‌سازی ۲۰ درصد	

رابطه ۱ محاسبه شد [۲۷]. همچنین پارامترهای رنگ-سنجی در جدول ۴ نشان داده شده است.

$$\Delta E^* = \sqrt{(\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2 + (\Delta L^*)^2} \quad (1)$$

### رنگ‌سنجی

به منظور بررسی میزان تغییر رنگ در نمونه‌ها، از دستگاه رنگ‌سنج مدل NR110 و سیستم رنگ‌سنجی Lab (مختصات رنگی) یا CLE Lab بر اساس استاندارد ASTM D 6290-19 استفاده شد و پارامتر  $\Delta E^*$  بر اساس

جدول ۴- پارامترهای معادله ۲

میزان روشنی	L*
نشان‌دهنده میزان قرمزی و سبزی	a*
نشان‌دهنده میزان آبی و زردی	b*
میزان تغییر رنگ	$\Delta E^*$

## چسبندگی کششی (Pull Off)

برای بررسی میزان چسبندگی پوشش‌ها بر روی سطح نمونه‌ها، آزمون چسبندگی کششی (ASTM D4541) انجام شد. در این آزمون ابتدا دالی‌های دستگاه (قطعات منفصل از دستگاه که به شکل استوانه‌ای می‌باشد) با استفاده از چسب دوجزئی اپوکسی بر روی سطح نمونه‌ها چسبانده شدند. بعد از طی ۲۴ ساعت، با استفاده از دستگاه پول آف دال‌ها از سطح نمونه‌های پوشش داده شده جدا شدند (شکل ۱). در نهایت میزان نیروی لازم برای جدا کردن لایه‌ی پوشش رنگی از سطح تخته‌ها محاسبه شد (فرمول ۲).

$$X = \frac{4F}{\pi d^2} \quad (2)$$

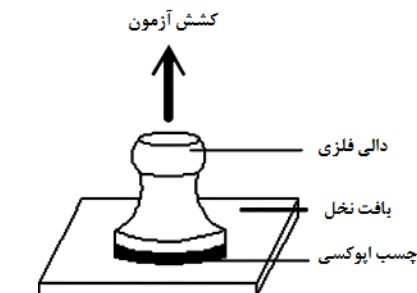
F: نیروی گسیختگی (نیوتن)

d: قطر دالی آزمایشگاهی (میلی‌متر)

X: مقاومت چسبندگی (مگا پاسکال)

## زبری

آزمون زبری سطح برای نمونه‌ها با ابعاد ۱۰×۵ سانتی‌متر با استفاده از دستگاه زبری سنج مدل SJ-201P ساخت کارخانه Mitutoyo ژاپن مطابق استاندارد EN ISO 4287 در جهت موازی با الیاف و عمود بر الیاف انجام شد. این دستگاه دارای دو قسمت اصلی ثابت و متحرک می‌باشد. در قسمت ثابت، صفحه‌ی نمایش و دیگر اجزاء اصلی دستگاه قرار می‌گیرد و در قسمت متحرک سنسور زبری سنج قرار می‌گیرد که برای هر بار محاسبه زبری، مسافت ۱۰ میلی‌متر را بر روی سطوح حرکت کرده و نتیجه را گزارش می‌دهد. پارامتر مهم در محاسبه زبری شامل Ra (معدل ارتفاعات نسبت به یک خط مرکزی) مورد محاسبه قرار گرفت.



شکل ۱- نمایشی از قرارگیری دالی در داخل دستگاه

افزایش درصد فشرده‌سازی دارد که مطابق با تحقیقات Mehmandoost و Khazaeian (۲۰۱۴) و Gong و همکاران (۲۰۱۰) در مورد چوب ماسیو می‌باشد. همچنین می‌توان گفت در اثر فشرده‌سازی میزان دانسیته افزایشی بوده و نتایج نشان می‌دهد در اثر فشرده‌سازی به میزان ۱۰ و ۲۰ درصد دانسیته نمونه‌ها به ترتیب ۷ و ۱۷ درصد نسبت به نمونه شاهد افزایش یافته است. تصاویر میکروسکوپی از نمونه شاهد، ۱۰ درصد فشرده‌سازی شده و ۲۰ درصد فشرده‌سازی شده در شکل ۳ نشان داده شده است. با توجه به نرم بدن بافت نخل و تحت پرس گرم قرار گرفتن آن این تغییر دانسیته رخ داده است و تلاش گردید تا گرادیان دانسیته در مقطع ایجاد نگردد ولی تا حدی این اتفاق افتاد.

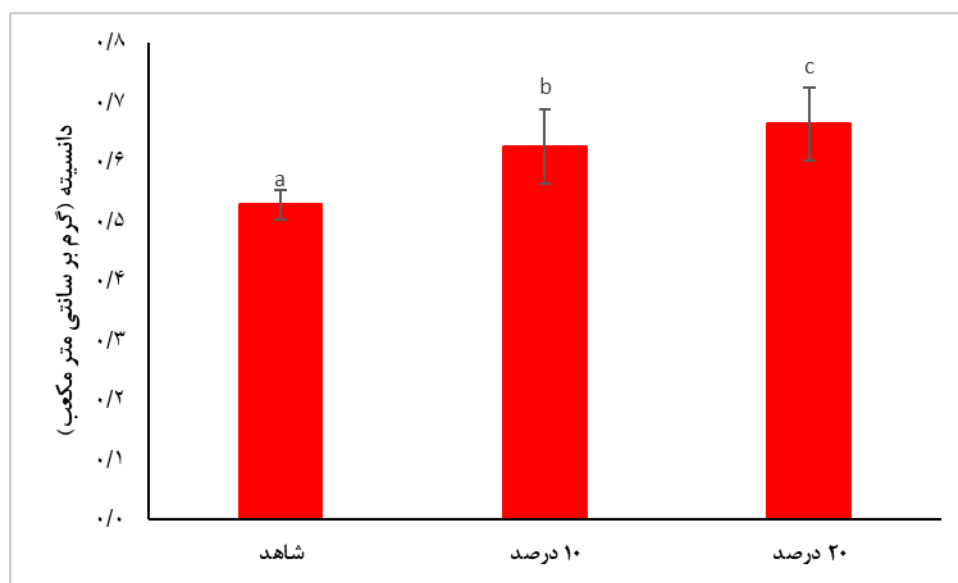
## آزمون آماری

از طرح کاملاً تصادفی برای نمونه‌برداری استفاده شد. همچنین، با استفاده از نرم‌افزار SPSS، معنی‌داری میانگین‌ها با آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح اطمینان ۹۵ درصد مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. لازم به ذکر است، برای تمام آزمون‌ها از ۳ تکرار استفاده شد.

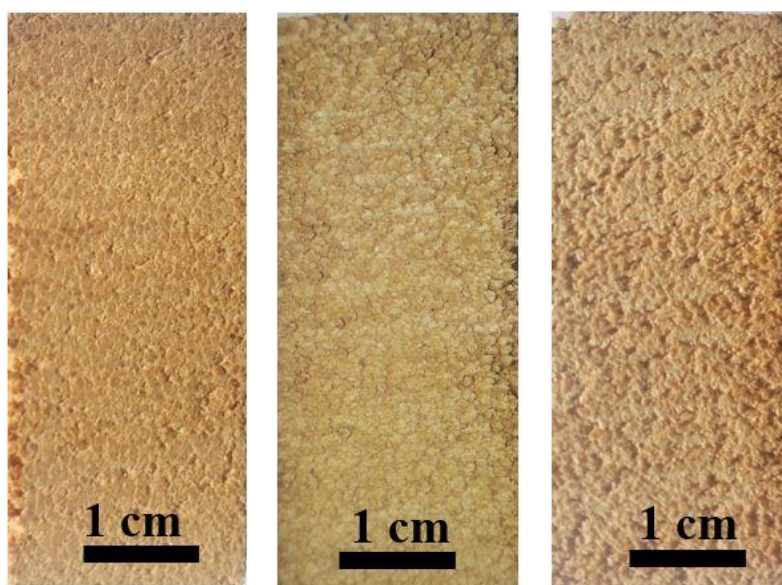
## نتایج و بحث

## دانسیته

شکل ۲ میانگین دانسیته نمونه‌های شاهد و فشرده‌سازی شده را نشان می‌دهد. بر این اساس، دانسیته در اثر فشرده‌سازی افزایش یافته و این افزایش، رابطه مستقیمی با



شکل ۲- میانگین دانسیته نمونه‌های شاهد و فشردگی شده



شکل ۳- تصاویر ماکروسکوپی نمونه‌های شاهد و پس از فشردگی ۲۰ درصد

شکل ۳- تصاویر ماکروسکوپی نمونه‌های شاهد و پس از فشردگی ۱۰ درصد

افزایشی به میزان ۸/۱ و میزان قرمزی روند کاهش به میزان ۸/۸ داشته است. می‌توان از دلایل اصلی کاهش روشنی در اثر فشردگی را ایجاد گرما و افزایش تراکم سطح در اثر فشردگی دانست که باعث تیره‌تر شدن آن شده است. بر اساس نتایج، به ترتیب بیشترین میزان  $L^*$ ،  $a^*$  و  $b^*$  در نمونه‌های شاهد و پوشش داده‌شده مربوط به نمونه‌های C، AC و AC می‌باشد. به عبارت دیگر در اثر پوشش دهی میزان روشنی در تمام نمونه‌ها کاهش و میزان زردی و قرمزی در آنها افزایش یافته است که

### آزمون رنگ‌سنجی

متوسط تغییرات روشنی ( $L^*$ )، زردی ( $a^*$ )، قرمزی ( $b^*$ ) و تغییرات رنگی کلی ( $\Delta E^*$ ) نمونه‌های شاهد، فشردگی شده و پوشش داده‌شده به ترتیب در جدول ۵ نشان داده شده است. نتایج رنگ‌سنجی نشان می‌دهد، با افزایش درصد فشردگی در نمونه شاهد میزان روشنی به ترتیب برای ۱۰ و ۲۰ درصد به میزان ۸/۸ و ۱۱/۳ کاهش و میزان زردی و قرمزی در ۱۰ درصد به میزان ۳/۲ و ۱۴/۷ کاهش و سپس در ۲۰ درصد میزان زردی روند

استفاده شود. با این وجود، این تیمارها همیشه منجر به یک الگوی مشابه یعنی تیرگی شدید نمونه‌ها، صرف نظر از گونه‌ی چوبی و تخریب شیمیایی اجزای اصلی در طول فرآیندهای حرارتی یا مکانیکی می‌شود [۳۰]. بررسی روند میزان تغییرات رنگی ( $\Delta E^*$ ) نسبت به نمونه شاهد (C) نشان می‌دهد در اثر فشرده‌سازی و پوشش‌دهی به‌طور کلی تغییرات رنگی بسیار متغیر بوده است و کمترین و بیشترین میزان تغییرات رنگی مربوط به نمونه ۱۰ C (شاهد فشرده‌سازی ۱۰ درصد) و W۲۰ (پلی‌یورتان فشرده‌سازی ۲۰ درصد) می‌باشد. همچنین نتایج میزان تغییرات رنگی ( $\Delta E^*$ ) نسبت به نمونه شاهد هر تیمار (C، W، P و AC) در جدول ۶ نشان داده شده است. نتایج نشان می‌دهد با افزایش درصد فشرده‌سازی میزان تغییرات رنگی افزایش می‌یابد. به عبارت دیگر در اثر فشرده‌سازی ۲۰ درصد در نمونه‌های شاهد (C)، پوشش پلی‌یورتان پایه آب (W)، پوشش پلی‌یورتان پایه حلال (P) و آلکیدی (A) به میزان ۷/۷، ۱۰/۳، ۷/۴ و ۴/۶ درصد نسبت به نمونه شاهد هر تیمار افزایش یافته است.

بیشترین میزان زردی و قرمزی مربوط به نمونه پوشش-داده شده با رنگ آلکیدی می‌باشد. نتایج نشان می‌دهد، در اثر فشرده‌سازی ۱۰ درصد و پوشش‌دهی، به ترتیب بیشترین میزان  $L^*$ ،  $a^*$  و  $b^*$  مربوط به نمونه‌های C۱۰، A۱۰ و A۱۰ می‌باشد. به عبارت دیگر حتی پس از فشرده‌سازی بیشترین میزان زردی و قرمزی مربوط به پوشش آلکیدی می‌باشد. بعلاوه، نتایج میزان  $L^*$ ،  $a^*$  و  $b^*$  در نمونه فشرده‌سازی ۲۰ درصد و پوشش‌داده شده مشابه فشرده‌سازی ۱۰ درصد مشاهده شد. تحقیقات انجام‌شده توسط Gholamiyan و Tarmian (۲۰۱۹) و Lung (۲۰۰۸) در مورد پوشش‌دهی سطح چوب نشان می‌دهد در اثر پوشش‌دهی چوب میزان روشنی کاهش و زردی و قرمزی افزایش می‌یابد. همچنین بیشترین تغییرات رنگی در پوشش آلکیدی مشاهده گردید و از دلایل اصلی آن مقاومت و کیفیت کم پوشش‌های آلکیدی می‌باشد [۲۷، ۲۶]. D Mattos و همکاران (۲۰۱۶) اظهار داشتند به‌طور کلی فشرده‌سازی گرمایی-مکانیکی یا گرمایی-بخاردهی-مکانیکی می‌تواند برای اصلاح رنگ چوب

جدول ۵- میانگین پارامترهای آزمون Lab

کد تیمار	$L^*$	$a^*$	$b^*$
C	۶۵/۹ <sup>a</sup> (۲/۷)	۱۳/۳ <sup>a</sup> (۱/۵)	۲۵/۷ <sup>a</sup> (۲/۷)
C۱۰	۶۰/۰ <sup>a</sup> (۱/۹)	۱۲/۸ <sup>a</sup> (۰/۱)	۲۲/۴ <sup>a</sup> (۰/۵۴)
C۲۰	۵۸/۴ <sup>a</sup> (۴/۲)	۱۴/۴ <sup>a</sup> (۱/۱)	۲۳/۴ <sup>a</sup> (۱/۱)
W	۵۴/۳ <sup>a</sup> (۲/۶)	۱۵/۶ <sup>a</sup> (۰/۷)	۳۱/۳ <sup>a</sup> (۱/۸)
W۱۰	۵۷/۱ <sup>a</sup> (۳/۰)	۱۵/۲ <sup>a</sup> (۰/۵)	۳۰/۳ <sup>a</sup> (۲/۲)
W۲۰	۴۴/۱ <sup>b</sup> (۶/۵)	۱۶/۵ <sup>a</sup> (۱/۰)	۳۰/۱ <sup>a</sup> (۲/۰)
P	۵۳/۸ <sup>a</sup> (۷/۰)	۱۵/۶ <sup>a</sup> (۱/۷)	۲۸/۱۸ <sup>a</sup> (۴/۰)
P۱۰	۵۱/۰ <sup>a</sup> (۵/۵)	۱۶/۹ <sup>a</sup> (۱/۹)	۳۰/۶ <sup>a</sup> (۳/۲)
P۲۰	۴۷/۱ <sup>a</sup> (۲/۶)	۱۷/۵ <sup>a</sup> (۰/۵)	۳۱/۵ <sup>a</sup> (۱/۶)
AC	۵۱/۱ <sup>a</sup> (۷/۴)	۱۷/۴ <sup>a</sup> (۱/۲)	۳۲/۶ <sup>a</sup> (۰/۷)
A۱۰	۵۰/۳ <sup>a</sup> (۵/۰)	۱۷/۳ <sup>a</sup> (۱/۶)	۳۱/۰ <sup>a</sup> (۲/۰)
A۲۰	۴۶/۶ <sup>a</sup> (۶/۷)	۱۷/۰ <sup>a</sup> (۱/۵)	۳۱/۸ <sup>a</sup> (۴/۹)

جدول ۶- متوسط تغییرات رنگی ( $\Delta E^*$ ) نمونه‌های فشرده‌سازی شده نسبت به نمونه شاهد تیمار خود

فشرده‌سازی		کد تیمار
۲۰ درصد	۱۰ درصد	
۷/۷	۶/۷	نمونه شاهد (بدون پوشش)
۱۰/۳	۳	پوشش پلی‌یورتان پایه آب
۷/۴	۳/۶	پوشش پلی‌یورتان پایه حلال
۴/۶	۱/۸	پوشش آلکیدی

## پارامتر زبری سطح

جدول ۷ نتایج آزمون زبری در جهت موازی و عمود بر الیاف را نشان می‌دهد. به‌طور کلی می‌توان گفت میزان زبری در اثر فشردگی و پوشش‌دهی کاهش یافته است.

**موازی با الیاف:** در جهت موازی الیاف در اثر فشردگی - سازی به میزان ۱۰ و ۲۰ درصد میزان زبری ۱۸/۱ و ۱۶/۶ درصد نسبت به نمونه شاهد کاهش یافت. همچنین، در اثر پوشش‌دهی با پوشش‌های پلی‌یورتان پایه آب (W)، پلی-یورتان پایه حلال (P) و آلکیدی (A) میزان زبری به ترتیب ۲۳/۹، ۵۲/۶ و ۷۱/۴ نسبت به نمونه پوشش داده نشده (C) کاهش یافت. بررسی اثر فشردگی و پوشش‌دهی بر زبری در جهت الیاف نشان داد که میزان زبری در جهت الیاف در اثر پوشش‌دهی و فشردگی - است. به‌عبارت‌دیگر پوشش‌های W۱۰، W۲۰، P۱۰، P۲۰، A۱۰، A۲۰ و W نسبت به A و P به ترتیب ۶۳/۷، ۵۳/۶، ۶۱/۸، ۴۶/۰، ۲/۳ و ۱۶/۴ درصد کاهش یافت. بعلاوه، بیشترین میزان کاهش Ra در جهت موازی الیاف (نسبت به نمونه شاهد) در P۱۰ به میزان کاهش ۸۲ درصد و کمترین میزان تغییرات در نمونه‌های پوشش داده‌شده با پوشش آلکیدی مشاهده شد؛ بنابراین می‌توان گفت بهترین پوشش مربوط به پوشش پلی‌یورتان پایه حلال با فشردگی ۱۰ درصد می‌باشد. بر اساس نتایج، در نمونه‌های بدون پوشش بین نمونه شاهد و فشردگی - سازی شده به میزان ۲۰ درصد با نمونه ۱۰ درصد فشردگی - سازی شده اختلاف معنی‌دار مشاهده شد. همچنین، اختلاف معنی‌داری بین نمونه‌های فشردگی - سازی شده پوشش داده - شده با پوشش آلکیدی و نمونه‌های پوشش داده‌شده با پوشش پلی‌یورتان (به‌جز نمونه شاهد) مشاهده نشد. بر اساس گروه‌بندی دانکن، نمونه‌های پوشش داده‌شده با پوشش پلی‌یورتان پایه آب و فشردگی - سازی شده به میزان ۲۰ درصد و نمونه شاهد پوشش داده‌شده با پوشش پلی - یورتان در یک گروه قرار گرفتند.

**عمود بر الیاف:** نتایج میزان زبری عمود بر الیاف نشان می‌دهد به علت فشردگی - سازی نمونه‌ها در جهت عمود بر الیاف میزان زبری آن‌ها پس از فشردگی - سازی به میزان

۱۰ و ۲۰ درصد به ترتیب ۳۷ و ۳۶/۶ درصد نسبت به نمونه شاهد افزایش داشته است. پوشش‌دهی موجب افزایش زبری در نمونه‌های پوشش داده‌شده با پوشش پلی‌یورتان پایه حلال و کاهش زبری در نمونه‌های پوشش داده‌شده با پوشش پلی‌یورتان پایه آب و آلکیدی در جهت عمود بر الیاف گردید. با توجه به جهت فشردگی - سازی می‌توان گفت فشردگی - سازی باعث حرکت بافت الیاف بر روی یکدیگر شده است و میزان زبری را در جهت عمود بر الیاف افزایش داده است. بعلاوه به دلیل عدم تشکیل فیلم مناسب توسط پوشش پلی‌یورتان پایه حلال و احتمال نفوذ بیشتر این پوشش به بافت نخل ممکن است باعث افزایش این پارامتر باشد. همچنین، بررسی اثر فشردگی - سازی و پوشش‌دهی بر زبری در جهت عمود بر الیاف نشان داد که میزان زبری در جهت الیاف در اثر پوشش‌دهی و فشردگی - سازی کاهش یافته است. به‌عبارت‌دیگر پوشش‌های W۱۰، W۲۰، P۱۰، P۲۰، A۱۰، A۲۰ و W نسبت به A و P به ترتیب ۴۱/۹، ۴۳/۹، ۰/۷، ۱۳/۳، ۴/۸ و ۷/۲ درصد کاهش یافت. در جهت عمود بر الیاف، بیشترین کاهش Ra نسبت به نمونه شاهد در W۲۰ به میزان ۴۵ درصد و بیشترین افزایش نسبت به نمونه شاهد در C۱۰ به میزان ۳۷ درصد مشاهده شد. به‌طور کلی می‌توان بیان نمود، بیشترین و کمترین مقدار Ra در جهت موازی الیاف به ترتیب در تیمار C و تیمار P۲۰ و بیشترین و کمترین مقدار زبری در جهت عمود بر الیاف در تیمار C۱۰ و تیمار W۱۰ مشاهده شد. بر اساس نتایج اختلاف معنی‌داری بین نمونه‌های بدون پوشش‌دهی (شاهد و فشردگی - سازی شده به میزان ۱۰ و ۲۰ درصد) مشاهده نشد. همچنین، در نمونه‌های پوشش داده‌شده با پوشش پلی‌یورتان پایه آب، بین نمونه شاهد با نمونه پوشش داده‌شده و فشردگی - سازی شده به میزان ۱۰ و ۲۰ درصد اختلاف معنی‌دار مشاهده شد. در نمونه‌های پوشش داده - شده با پوشش آلکیدی و فشردگی - سازی شده به میزان ۱۰ و ۲۰ درصد هیچ اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. چنین روندی در نمونه‌های پوشش داده‌شده با پوشش پلی‌یورتان پایه حلال نیز مشاهده شد.



جدول ۷- نتایج آزمون زبری در جهت موازی و عمود بر الیاف

کد تیمار		میزان زبری ( $R_a$ )
عمود بر الیاف	موازی الیاف	
۱۱/۵ <sup>a</sup>	۱۳/۸ <sup>a</sup>	C
۱۵/۷ <sup>a</sup>	۱۱/۳ <sup>b</sup>	C۱۰
۱۵/۷ <sup>a</sup>	۱۱/۵ <sup>a</sup>	C۲۰
۱۱/۲۵ <sup>a</sup>	۱۰/۵ <sup>c</sup>	W
۶/۵ <sup>b</sup>	۳/۸ <sup>e</sup>	W۱۰
۶/۳ <sup>b</sup>	۴/۹ <sup>d</sup>	W۲۰
۱۲/۶ <sup>a</sup>	۶/۵ <sup>d</sup>	P
۱۲/۵ <sup>a</sup>	۲/۵ <sup>e</sup>	P۱۰
۱۱ <sup>a</sup>	۳/۵ <sup>e</sup>	P۲۰
۱۰/۳ <sup>a</sup>	۳/۹ <sup>e</sup>	AC
۹/۸ <sup>a</sup>	۳/۹ <sup>e</sup>	A۱۰
۹/۶ <sup>a</sup>	۳/۳ <sup>e</sup>	A۲۰

معناداری در گروه‌بندی ایجاد شده است که در جدول ۵ نشان داده شده است. افزایش مقاومت به چسبندگی در نمونه فشرده‌سازی شده ۱۰ درصد می‌تواند به دلیل منسجم‌تر شدن و افزایش دانسیته بر اساس شکل ۱ عنوان نمود. فشرده‌سازی سبب افزایش دانسیته سطح تخته‌ها و همچنین کاهش زبری سطح و در نتیجه بهبود مقاومت چسبندگی شده است. با توجه به اینکه بافت سطحی نخل نرم و سست می‌باشد پس از فشرده‌سازی این افزایش تراکم باعث مقاومت بیشتر سطحی بافت شده و مقاومت به چسبندگی پوشش را افزایش داده است. پس از فشرده‌سازی به میزان ۲۰ درصد عملکرد متفاوتی در میزان مقاومت به چسبندگی پوشش‌ها مشاهده گردید. به‌طور کلی می‌توان بیان نمود در اثر فشرده‌سازی ۲۰ درصد میزان مقاومت به چسبندگی نسبت به نمونه بدون فشرده‌سازی افزایش ولی نسبت به نمونه فشرده‌سازی شده ۱۰ درصد کاهش یافت. بیشترین مقاومت به چسبندگی در نمونه‌های فشرده‌سازی شده ۲۰ درصد در نمونه پوشش‌داده شده با پلی‌یورتان پایه آب مشاهده گردید. همچنین، در نمونه‌های فشرده‌سازی شده ۲۰ درصد نسبت به نمونه بدون فشرده‌سازی (P، W، AC) به ترتیب برای نمونه‌های W۲۰، P۲۰ و A۲۰ به میزان ۱۷/۲، ۱۸/۲ و ۳۱/۷ درصد افزایش و نسبت به نمونه فشرده‌سازی شده ۱۰ درصد (W۱۰، P۱۰ و AC۱۰) به ترتیب برای نمونه‌های W۲۰، P۲۰ و A۲۰ به میزان ۱۱/۱، ۹/۲ و

### آزمون چسبندگی کششی

جدول ۵ نتایج آزمون چسبندگی کششی را نشان می‌دهد. در میان پوشش‌های استفاده شده بر روی نمونه‌های بدون فشرده‌سازی نتایج نشان می‌دهد به ترتیب پوشش‌های پلی‌یورتان پایه آب (W)، پلی‌یورتان پایه حلال (P) و آلکیدی (AC) بیشترین مقاومت را از خود نشان دادند. به‌عبارت‌دیگر پیش از فشرده‌سازی بیشترین مقاومت به چسبندگی کششی مربوط به پوشش پلی‌یورتان پایه آب به میزان ۲/۶ مگا پاسکال می‌باشد که توانسته است میزان چسبندگی را به میزان ۷/۶ و ۴۵/۸ به ترتیب نسبت به نمونه‌های پوشش‌داده شده با پلی‌یورتان پایه حلال و آلکیدی داشته باشد. همچنین، نتایج آزمون آماری نشان داد با توجه به متفاوت بودن نتایج در پوشش‌های مختلف ولی در یک گروه قرار یافتند.

پس از فشرده‌سازی به میزان ۱۰ درصد میزان مقاومت به چسبندگی در تمامی نمونه‌ها افزایش یافت که بیشترین مقاومت به چسبندگی در نمونه‌های فشرده‌سازی شده ۱۰ درصد در نمونه پوشش‌داده شده با پلی‌یورتان پایه آب مشاهده گردید. همچنین، در نمونه‌های فشرده‌سازی شده ۱۰ درصد نسبت به نمونه بدون فشرده‌سازی (W، P و AC) به ترتیب برای نمونه‌های W۱۰، P۱۰ و A۱۰ به میزان ۳۱/۷، ۳۰/۲ و ۶۵/۵ درصد افزایش یافت. نتایج آزمون آماری نشان داد در اثر فشرده‌سازی اختلاف

فشردگی پوشش داده‌شده با پوشش آلکیدی مشاهده شد؛ که مطابق با نتایج Nedelkoska و همکاران (۲۰۱۹) و Subyakto و همکاران (۱۹۹۸) در خصوص تأثیر فشردگی بر مقاومت‌های پوشش‌ها در سطح چوب می‌باشد [۲۴،۲۳]. در نهایت نتایج آزمون آماری نشان می‌دهد در تمام تیمارها بین میزان چسبندگی نمونه شاهد و نمونه‌های فشردگی شده به میزان ۱۰ و ۲۰ درصد اختلاف معنی‌دار وجود دارد.

۲۰/۴ درصد کاهش یافت. نتایج آزمون آماری نشان داد در اثر فشردگی ۲۰ درصد اختلاف معناداری در گروه‌بندی با نمونه بدون فشردگی و فشردگی ۱۰ درصد ایجاد شده است که در جدول ۵ نشان داده شده است. همچنین در اثر فشردگی ۲۰ درصد بیشترین و کمترین میزان افزایش مقاومت به چسبندگی در پوشش A۲۰ و W۲۰ مشاهده گردید. بیشترین مقدار چسبندگی کششی در نمونه فشردگی شده به میزان ۱۰ درصد و پوشش داده شده با پوشش پایه آب و کمترین مقدار در نمونه بدون

جدول ۵- نتایج آزمون چسبندگی کششی

چسبندگی کششی (Mpa)	کد تیمار
۲/۶ <sup>a</sup> (۰/۳)	W
۳/۴ <sup>b</sup> (۰/۱)	W۱۰
۳/۱ <sup>c</sup> (۰/۱)	W۲۰
۲/۴ <sup>a</sup> (۰/۳)	P
۳/۱ <sup>b</sup> (۰/۱)	P۱۰
۲/۹ <sup>c</sup> (۰/۱)	P۲۰
۱/۴ <sup>a</sup> (۰/۳)	AC
۲/۳ <sup>b</sup> (۰/۱)	A۱۰
۱/۹ <sup>c</sup> (۰/۱)	A۲۰

(۲۰۱۶) و Gholamiyan و همکاران (۲۰۱۹) به نتایج مشابهی دست یافتند [۲۷،۲۵].

در اثر فشردگی پوشش‌دهی میزان روشنی نمونه‌ها کاهش و زردی و قرمزی آنها افزایشی بوده است. با توجه به تیرگی بافت نخل ایجاد تراکم بیشتر به علت بسته شدن منافذ و فاصله خالی میان الیاف باعث افزایش تیرگی شده و پوشش‌ها به لحاظ ماهیت رزینی خود و ایجاد انعکاس در سطح بافت نخل از روشنی آن می‌کاهد و از سوی دیگر با افزایش دانسیته و تراکم بالاتر میزان زردی و قرمزی هم افزایشی خواهد بود که طبق مطالعات Lung و Chou و همکاران (۲۰۰۸) [۲۶] و Mattos و همکاران (۲۰۱۶) [۳۰] که در این خصوص صورت پذیرفته است پوشش‌دهی می‌تواند از عوامل مهم در افزایش رنگ زردی و قرمزی نمونه‌ها باشد. با توجه به ماهیت رزینی پوشش‌های آلکیدی و کیفیت پایین‌تر این پوشش از لحاظ

### نتیجه‌گیری

فشردگی یکی از روش‌های نسبتاً رایج در تغییر خواص مواد می‌باشد که در صنعت چوب از آن استفاده‌های بسیاری می‌شود. به‌طور کلی می‌توان نتیجه‌گیری نمود در اثر فشردگی میزان دانسیته در بافت نخل افزایش یافته است و این افزایش دانسیته تغییراتی را در نتایج آزمون‌های زبری، رنگ‌سنجی و چسبندگی نشان داده است. با افزایش دانسیته میزان زبری سطح در جهت موازی الیاف کاهش و در جهت عمود بر الیاف افزایش یافته است. این کاهش زبری در جهت موازی با الیاف به علت افزایش دانسیته سطحی صورت پذیرفته است ولی به علت جهت فشردگی و خلاف جهت الیاف میزان زبری در جهت عمود بر الیاف افزایشی بوده است. همچنین پس از پوشش‌دهی میزان زبری در تمامی نمونه‌ها کاهش یافته است که دلیل اصلی آن ایجاد یک سطح صلب پلیمری در سطح بافت نخل می‌باشد. تحقیقات Ghofrani و همکاران

فشرده‌سازی شده بهتر می‌باشد. همچنین در میان پوشش‌ها نمونه پوشش‌داده شده با پلی‌یورتان پایه آب توانسته است مقاومت بیشتری نسبت به پلی‌یورتان پایه حلال و آلکیدی از خود نشان دهد که می‌توان علت آن نتیجه آبدوستی بیشتر بافت نخل دانست که به دلیل آبدوستی بیشتر و نفوذ بهتر در بافت نخل باعث افزایش مقاومت به چسبندگی شده است و از سوی دیگر ماهیت پوشش پلی‌یورتان پایه آب به لحاظ رزینی ثبات و مقاومت بالاتری نسبت به سایر پوشش‌ها دارد. پیشنهاد می‌شود در مطالعات بعدی در مورد خصوصیات مکانیکی بافت تنه نخل پس از فشرده‌سازی صورت پذیرد.

ظاهری بیشترین تغییرات رنگی و زرد و قرمز شونندگی در این پوشش مشاهده گردید.

از نتایج چسبندگی کششی می‌توان نتیجه‌گیری نمود که افزایش فشرده‌سازی تا ۱۰ درصد توانسته است مقاومت به چسبندگی را به صورت معناداری بهبود بخشد و علت آن را می‌توان به انسجام بیشتر بافت فیبری شکل نخل اشاره کرد که توانسته است مقاومت به چسبندگی پوشش را بهبود بخشد. ولی فشرده‌سازی بیشتر (۲۰ درصد) باعث عدم نفوذ پوشش به بافت نخل شده و این عدم نفوذ و یا نفوذ کمتر باعث کاهش مقاومت نسبت به ۱۰ درصد شده است ولی میزان مقاومت نمونه فشرده‌سازی شده ۲۰ درصد به صورت معناداری از نمونه فاقد

## منابع

- [1] Doosthoseini, K., 2001. Wood composite material. University of Tehran Press, 648p (In Persian).
- [2] Sanadi, A.R., Walz, K., Weiloch, L., Jacobson, R.E., Caulfield, D.F., and Rowell, R.M., 1995. Effect of matrix modification on lignocellulosic composite. Pp. 11. In: Proceeding of 3rd international Conference on wood fiber-plastic composites, Madison, W.I., U.S.A.
- [3] Ramadan, A.N., 2014. An evaluation of midribs from common date palm cultivars grown in Saudi Arabia for energy production. *Bioresource*, 9(3):4343-4357.
- [4] Hegazy, S., Ahmed, K. and Hiziroglu, S., 2015. Oriented strand board production from water-treated date palm fronds. *Bio resources*, 10(1): 448-456.
- [5] Azizi, M., Khakifirooz, A. and Moghimi, F., 2009. Evaluation of the major criteria intensities for Iranian particle board products with respect to manufacturer's aspect. In: ISAHP Symposium. July 29-August 1, Pittsburgh, Pennsylvania, USA, 98-102.
- [6] Latibari, A.J., Hosseinzade, A., Norbakhsh, A., Kargarfard, A. and Golbabaee, F., 1996. Investigated properties of particle board made from Palms scrip. *Iranian Journal of Wood and Paper Science Research*, 1(4): 51-67 (In Persian).
- [7] Sokhandan, T., Mohebbi Gargari, R. Morshed, M., Moazem, V., and Nosrati, B., 2015. Determination and prioritization of effective criteria in construction of particleboard factories with using wastes of tamarisk, palms and musa trees case study: Sistan and Baluchestan province. *Iranian Journal of Wood and Paper Industries*, 6(1): P13-29.
- [8] Biazayat, A., Jamalirad, L., Aminian, H., and Hedjazi, S., 2016. The effect of using palm wood flour in the manufacture of polypropylene-based wood-plastic composite. *Iranian Journal of Wood and Paper Science Research*. 31(1): 30-39.
- [9] Fathi, L. and Frühwald, A., 2014. The role of vascular bundles on the mechanical properties of coconut palm wood. *Wood Material Science and Engineering*, 9(4): 214-223.
- [10] Tarmian, A., Foroozan, Z., Sepehr, A., Gholamiyan, H. and Oladi, R., 2013. Physical and anatomical features and drying behavior of the boards produced from old date palm trees (*Phoenix dactylifera* L.) in Bam city. *Iranian Journal of Wood and Paper Science Research* 28 (3): 498-508.
- [11] Jenings, J.D., 2003. Investigation the Surface Energy and Bond Performance of Densification Densified Wood. Master Thesis, Virginia Polymeric Institute and State University, 147 p.
- [12] Shams, M.D., Kagemori, N., and Yano, H., 2006. Compressive deformation of wood impregnation with low molecular weight phenol-formaldehyde (PF) VI: Species dependency. *J. wood Science*. 52: 179-183.

- [13] Mehmandoust, M. Khazaeian, A., 2014. The effect off chemical treatment and densification percent on mechanical properties off Paulownia compressed wood Iranian Journal of Wood and Paper Industries, 5 (2). P 69-80.
- [14] Sandberg, D., Haller,P and Navi,P., 2013. Thermo-hydro and thermo-hydro-mechanical wood processing: An oppurtuinity for future environmentally friendly wood products. Wood Material and Science and Engineering, 8(1):64-88.
- [15] Gong, M., Lamason,C., and Li, L., 2010. Interactive effect of surface densification and post-heat-treatment on aspen wood †Journal of Materials Processing Technology, 210 (2): 293-296.
- [16] Mohebbi, B., Sharifnia-Dizboni, H.,and Kazemi-Najafi, S., 2009. Combined hydro-thermo-mechanical modification (CHTM) as an innovation in mechanical wood modification. The Fourth European Conference on Wood Modification, 27-29th April, Stockholm, Sweden: 353-362 pp.
- [17] Sekalu, M. and Khazaeian, A., 2012. The effect of chemical modification with phenol formaldehyde and densification on mechanical properties of Paulownia Wood. Iranian Journal of Wood and Paper Science Research, 3(1): 13-28 (In Persian).
- [18] Madhoushi, M., Grey, M., Tabarsa, T., and Rafighi, A., 2012. Nail and Screw Withdrawal Strength, MOE and MOR in Densified Poplar Wood .Journal of Wood & Forest Science and Technology, 18(4): 45-54.
- [19] Laine, K., Rautkari, L., and Hughes, M., 2013. The effect of process parameters on the hardness of surface densified Scots pine solid wood. European Journal of Wood and Wood Products, 71(1): 13-16.
- [20] Esteves, B., Duarte,S., and Nunes, L., 2017. Densification and Heat Treatment of Martine Pine Wood, wood research, p 373-388.
- [21] Song, j., Chen, c., and zhu, sh. 2018. Processing bulk natural wood into a high-performance structural material,china. 224-239 pp.
- [22] Mazandarani, M., 2014. Color and resin technology. Pishro publications, 750 p.
- [23] Nedelkoska, E., Pichelin, F., Volkmer, T., Noël, M., and Canoine, B., 2019. Properties of selected wood coatings applied on THM-densified Norway spruce (*Picea abies* K.). In 4th International Scientific conference Wood Technology & Product Design. pp. 1–9.
- [24] Subyakto, Kajimoto, T., Hata, T., Ishihara, S., Kawai, S., and Getto, H., 1998. Improving Fire Retardancy of Fast Growing Wood by Coating with Fire Retardant and Surface Densification. Fire and Materials. 22(5): 207-212.
- [25] Ghofrani, M., Moradi, M. and Khojasteh, KH. 2016a. Investigation on the effect of different methods of applying transparent coatings on adhesion strength of coating in wooden surfaces. Iranian Journal of Wood and Paper Science Research, 31(2): 248-260.
- [26] Lung Chou, P., Ting Chang, H., Feng Yeh, T. and Tzen Chang, S., 2008. Characterizing the conservation effect of clear coatings on photodegradation of wood. Bioresource Technology, 99 (5): 1073–1079.
- [27] Gholamiyan, H., and Tarmian, A., 2019. The effectt off layers made off clear coats on the color changes and surface quality of wood after accelerated weathering in urban furniture. Iranian Journal of Wood and Paper Industries, 9(4): 561-574.
- [28] Ghofrani, M., Samadi, E. and Khojasteh, KH., 2016b. Heat treatment of wood and the investigation of its effect on surface wettability and adhesion strength of coating. Iranian Journal of Wood and Paper Science Research, 31 (2): 363-373.
- [29] Ratnasingam, J., 2015. Quality enhancement of oil palm wood–a technical study. IFRG Report No 3/15. Kuala Lumpur. ISBN 978-967-5523-1-3.
- [30] Mattos, B. D., Missio, A. L., de Cademartori, P. H. G., Gatto, D. A., and Magalhaes, W. L. E., 2016. Color changes of wood from pinus taeda and schizolobium parahybum treated by in situ polymerization of methyl methacrylate using cross-linkers. Maderas: Ciencia y Tecnologia, 18(1): 113–124.

## Investigation of the effect of palm texture densification on surface properties and coating quality with water-based and solvent-based coatings for use in furniture

### Abstract

In this research, the effect of palm tissue densification on coating quality was investigated. From the palm trunk, specimens of 5 × 10 cm with thicknesses of 2, 2.3 and 2.5 cm were prepared and put into a conditioning room (T = 25 °C and RH=65%) for reaching a moisture content of 12%. Densification of samples was performed in three stages: warming, densification and steam treatment. Then, the samples were coated with alkyd, water and solvent based polyurethane and to evaluate properties, colorimetric, roughness and tensile adhesion tests were done. Based on the colorimetric results, the lightness was reduced in all samples by densification. Also, after coating the brightness of the samples decreased and the yellowness and redness of the samples increased. Statistical analysis showed that there is a significant difference in the brightness parameter (L \*) between 10% and 20% compressed and control samples with water-based polyurethane coating. The results of roughness test showed that after densification and coating samples, the roughness of all samples was reduced and the best performance for the compressed sample was 10% with the solvent-based polyurethane, which had 4 times less roughness on average than the control sample. According to the results of adhesion test, the adhesion rate increased in all treatments with increasing densification percentage and the highest amount was observed in compressed samples by 10%. In other words, due to the densification and cohesion of the palm texture, the surface roughness decreased and improved by up to 10% of the adhesion resistance due to better penetration of the coating as well as the compressive strength of the fiber in the compressed sample.

**Keywords:** Coating, Colorimeter, Densification, Palm, Adhesion, Roughness.

**H. Gholamiyan<sup>1\*</sup>**  
**B. Gholampoor<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Assistant Professor, Department of Wood and Paper Science & Technology, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran

<sup>2</sup> MSc., Department of Wood and Paper Science & Technology, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran

Corresponding author:  
[Hadi\\_gholamiyan@ut.ac.ir](mailto:Hadi_gholamiyan@ut.ac.ir)

Received: 2019/11/26  
Accepted: 2020/02/24