

## تاثیر فورفوریلایسیون بر روی برخی ویژگی‌های کاربردی تخته لایه راش

## چکیده

در این مطالعه اثر فورفوریلایسیون بر خواص کاربردی تخته لایه راش مورد بررسی قرار گرفت. اصلاح فورفوریلایسیون لایه‌های راش در دو سطح ۳۰ و ۷۰ درصد به روش اشباع سلول پر و پلیمریزاسیون مونومر فورفوریل الکل با کاتالیزور حرارت انجام گرفت. تخته‌های سه لایه با دو نوع چسب اوره فرمالدهید و ایزوسیانات ساخته شدند. ویژگی‌های کاربردی آزمون‌های فورفوریل شده ارزیابی و با آزمون‌های شاهد مقایسه شدند. آزمون‌ها شامل مدول گسیختگی (MOR)، مدول الاستیسیته (MOE)، مقاومت برشی خط چسب، جذب آب و واکنشیدگی ضخامت بودند. نتایج نشان داد که با افزایش سطح اصلاح فورفوریلایسیون، میزان مدول الاستیسیته، جذب آب و واکنشیدگی ضخامت (پایداری ابعاد) بهبود یافتند. البته افزایش مقاومت‌ها در مورد رزین ایزوسیانات کمتر از رزین اوره فرم آلدئید بود که می‌توان دلیل آن را به مسدود شدن گروه‌های هیدروکسید در اثر فورفوریلایسیون مرتبط دانست که باعث کاهش نم‌پذیری چوب و در نتیجه کاهش کیفیت اتصال می‌گردد و کاهش مقاومت‌ها نسبت به رزین اوره فرم آلدئید بیشتر است. ولی MOR فقط تا سطح ۳۰ درصد افزایش نشان داده و با افزایش سطح فورفوریلایسیون کاهش یافت. همچنین فورفوریلایسیون بر مقاومت برشی خط چسب اثر منفی داشت که این کاهش مقاومت در مورد رزین ایزوسیانات بیشتر بود که به دلیل ترشوندگی کمتر و نفوذ کمتر رزین ایزوسیانات به درون لایه‌ها بوده و با افزایش سطح فورفوریلایسیون این ویژگی کاهش یافت.

**واژگان کلیدی:** فورفوریلایسیون، تخته لایه راش، ویژگی‌های کاربردی، مدول گسیختگی، مقاومت برشی.

آیسونا طلایی<sup>۱\*</sup>

محمد توکلیان<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup> استادیار گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی تهران

<sup>۲</sup> دانش آموخته کارشناس ارشد رشته صنایع چوب، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی

مسئول مکاتبات:

[talaei.srttu@gmail.com](mailto:talaei.srttu@gmail.com)

تاریخ دریافت: ۹۴/۰۴/۱۶

تاریخ پذیرش: ۹۴/۰۸/۲۶

## مقدمه

تخته لایه از مهم‌ترین فراورده‌های چوبی است که به دلیل خواص فیزیکی و مکانیکی مناسب کاربردهای فراوانی به خصوص در ساختمان دارد. برای گسترش دامنه کاربرد این محصول لازم است ویژگی‌های کاربردی تخته لایه بهبود یابند. از آنجاکه استفاده از چسب‌های

پایه فنل و مواد حفاظتی در سال‌های اخیر به لحاظ مسائل بهداشتی و سلامتی کاهش و یا منع مصرف یافته است، تلاش برای یافتن روش‌های دوستدار محیط‌زیست به منظور افزایش کارایی و گسترش کاربرد فراورده‌های چوبی منجر به نتایج رضایت‌بخشی شده است. به خاطر نگرانی از ایمنی محیط، اخیراً موضوع بسیاری از تحقیقات

افزایش در مدول گسیختگی و مدول الاستیسیته و ثبات ابعادی. در سطوح اصلاح پایین‌تر نیز پیشرفت خاصیت رخ می‌دهد. همچنین مقاومت به پوسیدگی میکروبی و حمله حشرات و ثبات ابعادی نسبتاً بالا است [۴]. فرایندهای نو فورفوریل‌اسیون بر پایه سازوکارهای کاتالیزوری و مواد افزودنی فرایندی جدید، پایه‌گذاری شده‌اند. فرایند گلدستون<sup>۱</sup> با کاتالیزور کلرید روی و بر روی روکش‌های چوبی انجام گرفت و به تولید چوب فورفوریل‌دار شده در ابعاد کوچک در دهه ۱۹۶۰ توسط شرکت Koppers انجامید. Anaya فرایند بسیار نزدیکی به روش Stamm/Goldstein ارائه دادند [۵،۶]. در فرایندهای تولید چوب پلیمر مانند فورفوریل‌اسیون، برخلاف استیل‌اسیون که به تجهیزات ویژه‌ای برای اصلاح نیاز دارد چوب از طریق تجهیزات سنتی با منومر مورد نظر اشباع شده و به دنبال آن فرایند پلیمریزاسیون با روش‌های مختلفی مانند حرارت دهی، استفاده از کاتالیزور و یا نفوذ اشعه تکمیل می‌شود. فورفوریل‌اسیون چوب ممکن است آینده امیدبخشی داشته باشد زیرا قیمت فورفوریل‌الکل ممکن است در آینده نزدیک به خاطر اینکه این ماده محصول جانبی تولیدات زیست‌فناوری است، کاهش یابد. هدف از تیمار فورفوریل‌اسیون افزایش ثبات و پایداری چوب و افزایش برخی ویژگی‌های مکانیکی آن بدون کاهش فراوانی در ویژگی‌های مکانیکی دیگر مورد نیاز برای کاربردهای سازه‌ای است. از آنجاکه تاکنون گزارشی مبنی بر تأثیر تیمار فورفوریل‌اسیون بر ویژگی‌های کاربردی تخته لایه گزارش منتشر نشده است، تحقیق حاضر با هدف بررسی مقاومت‌های فیزیکی و مکانیکی تخته لایه فورفوریل‌دار شده ارائه می‌گردد.

### مواد و روش‌ها

در این بررسی لایه‌های چوب راش (*Fagus orientalis lipsky*) با ضخامت ۲ mm از کارخانه نکا چوب تهیه و به نمونه‌های آزمونی با ابعاد ۲۰۰×۲۰۰ mm<sup>۲</sup> بریده شدند. عملیات فورفوریل‌اسیون چوب راش بر پایه روش Thygesen و همکاران (۲۰۱۲) با اندکی تغییرات مانند تغییر در ابعاد، گونه چوبی، درصد مصرف

بر اساس مواد شیمیایی گیاهی برای حفاظت از چوب بنا نهاده شده است. در این میان پنتوزان‌ها که از محصولات جانبی کشاورزی، از جمله باگاس به دست می‌آیند، تحت تأثیر واکنش اسیدی، فورفورال تولید می‌کنند. فورفورال به‌وسیله هیدروژناسیون می‌تواند به فورفوریل‌الکل تبدیل شود، فورفوریل‌الکل یک پلیمر شیمیایی با منشأ گیاهی (زیست پلیمر) است که برای ساخت چوب-پلیمر مورد استفاده قرار می‌گیرد؛ باعث واکنشیدگی چوب می‌شود و اغلب این واکنشیدگی به‌صورت پایدار باقی می‌ماند. مولکول‌های الکل فورفوریل به اندازه کافی کوچک و قطبی هستند که بتوانند وارد دیواره سلولی چوب شوند. بنابراین می‌تواند آن را به شکل یک چوب پلیمر دیواره‌های با ثبات ابعادی خوب و مقاوم به اسید و باز بهبود دهند. برای تجارتي کردن موفق این قبیل مواد (فورفوریل‌الکل)، نتایج مطالعاتی که بر روی جنبه‌های محیطی استفاده از چوب فورفوریل‌دار شده انجام شد، نشان داد که غلظت فورفوریل‌الکل واکنش ن داده یا مقدار الکل فورفوریل آزاد در محصولات نهایی پایین است و اثرات کشندگی قارچ را ندارند [۱]. مطالعات بر روی مواد شیمیایی منتشر شده از چوب فورفوریل‌دار شده نشان می‌دهد که این قبیل مواد برای محیط‌زیست یا استفاده‌کنندگان در محل مصرف مضر نیست. آزمون‌های انجام شده بر روی چوب فورفوریل‌دار شده نشان می‌دهد که سمیت چوب تیمار شده، برای محیط‌زیست، اختلاف معنی‌داری با چوب تیمار نشده ندارد (هیچ‌کدام سمی نیستند) و همچنین تخریب ناشی از اشتعال، سبب انتشار ترکیبات آلی فرار یا هیدروکربن‌های پلی‌آروماتیک نمی‌شود، زیرا پلی‌فورفوریل‌الکل هنگام گرمادهی به مونومرها تجزیه نمی‌شود و مستقیماً تمایل به ترکیب شدن با اکسیژن دارد. از این‌رو محققین معتقدند که فورفوریل‌اسیون چوب برای بالا بردن خواص چوب یک روش دوستدار محیط‌زیست است و برای محیط خطرناک نیست [۲،۳]. Land و همکاران (۲۰۱۱) چوب فورفوریل شده را مورد بررسی قرار دادند نتایج نشان داد خواص چوب فورفوریل شده به میزان پلیمریزاسیون الکل فورفوریل در چوب بستگی دارد. در سطوح تیمار بالا افزایش طیف گسترده‌ای از خواص به دست آمده است، افزایش در سختی، مقاومت به پوسیدگی میکروبی و حمله حشرات،

<sup>1</sup> Goldstein

جدول ۱ آمده است. کاتالیزور مورد استفاده رزین اوره فرمالدهید، سولفات آمونیوم  $SO_4(NH_4)_2$  بود که به میزان ۱٪ وزن خشک چسب استفاده شد. سولفات آمونیوم مورد استفاده دارای ۳۵٪ ماده خشک بود که از شرکت پارس ماکیان تهیه شد.

کاتالیزور و دمای خشک کردن چوب راش پیش از آغاز تیمار به خاطر حساسیت بالاتر این گونه چوبی در سه مرحله اشباع، پخت و پخت تکمیلی انجام شد [۷]. چسب مورد استفاده در این تحقیق اوره فرمالدهید (UF)<sup>۱</sup> و ایزوسیانات (MDI)<sup>۲</sup> بود که مشخصات آن‌ها در

جدول ۱- مشخصات رزین مورد استفاده

| نوع رزین       | دانسیته $g/cm^3$ | مواد جامد (w/w%) | گرانروی (cP) | زمان ژل شدن (s) |
|----------------|------------------|------------------|--------------|-----------------|
| اوره فرمالدهید | ۱/۲۶             | ۶۰               | ۳۵۰          | ۶۴              |
| ایزوسیانات     | ۱/۲۷             | -                | ۳۰۰          | ۱۰۰             |

غلظت‌های مختلف فورفوریل الکل در محلول اشباع می‌توان استفاده کرد. برای دستیابی به سطوح مختلف فورفوریل‌اسیون، فورفوریل الکل با اتانول ۹۶٪ با نسبت حجمی ۳۰:۷۰ و ۷۰:۳۰ باهم مخلوط شدند. به میزان ۱/۵٪ وزن الکل فورفوریل، اسیدسیتریک (شرکت مرک آلمان) به‌عنوان کاتالیزور مورد استفاده قرار گرفت [۸]. میزان درصد افزایش وزنی آزمون‌ها از معادله زیر محاسبه شد.

$$WPG(\%) = \frac{MP - MO}{MO} * 100 \quad (1)$$

WPG: درصد افزایش وزن نمونه

$M_p$ : وزن خشک نمونه بعد از اصلاح

$M_o$ : وزن خشک نمونه قبل از اصلاح

### چسب زنی و مونتاژ لایه‌ها

پس‌ازاینکه لایه‌ها به رطوبت محیط رسیدند با استفاده از قلم‌مو به‌صورت یکنواخت به چسب آغشته شدند. میزان چسب برای لایه‌ها  $20 g/m^2$  در نظر گرفته شد. تعداد ۳ لایه به‌صورت متقاطع بر روی یکدیگر مونتاژ شده و سپس تحت پرس گرم (با دمای  $130^\circ C$  و فشار ۳۰ بار به مدت ۸ دقیقه) قرار گرفتند. تخته‌های سه لایه ساخته شده پس از پرس به مدت یک هفته در اتاق کلیما با رطوبت نسبی ۶۵

### فورفوریل‌اسیون و ساخت تخته‌های آزمایشگاهی

#### خشک‌کردن و آماده‌سازی لایه‌ها

با توجه به اینکه برای محاسبه درصد افزایش وزن<sup>۳</sup> (WPG) باید وزن خشک لایه‌ها قبل از تیمار اندازه‌گیری شود لایه‌ها درون اتو با دمای  $103 \pm 3$  درجه سلسیوس به مدت ۲۴ ساعت قرار گرفت تا به رطوبت صفر درصد برسد. سپس با استفاده از ترازوی دقیق ( $0/100$  گرم) وزن خشک اولیه لایه‌ها اندازه‌گیری شد. سپس لایه‌ها با استفاده از فورفوریل الکل ۹۶٪ ساخت شرکت دایچونگ و کاتالیزور اسیدسیتریک به میزان ۱/۵ درصد وزن الکل فورفوریل تحت تیمار شیمیایی قرار گرفتند. بدین منظور لایه‌ها درون سیلندر اشباع ویژه اصلاح چوب تحت فشار ۸ بار به مدت ۴۰ دقیقه قرار گرفتند. پس از خارج کردن آزمون‌ها از سیلندر، مایع اضافی از آزمون‌ها زدوده شده برای حذف اتانول موجود در چوب پیش از پلیمریزاسیون، آزمون‌ها به مدت ۲ ساعت در هوای آزاد در دمای  $20^\circ C$  و ۲ ساعت در آون با دمای  $40^\circ C$  قرار داده شدند. سپس آزمون‌ها در درون فویل آلومینیومی پیچیده شده و عملیات گرمادهی به مدت ۱۶ ساعت در دمای  $106^\circ C$  در آون انجام شد. پس از گرمادهی و بیرون آوردن آزمون‌ها از درون فویل، گرمادهی تکمیلی به مدت ۱۶۸ ساعت در دمای  $40^\circ C$  در آون انجام شد. آزمون‌ها پیش از متعادل‌سازی توزین و ابعاد آن‌ها اندازه‌گیری شد و برای متعادل‌سازی به مدت یک هفته در شرایط کلیما قرار گرفتند [۸].

برای به دست آوردن سطوح مختلف فورفوریل‌اسیون از

<sup>1</sup> Urea Formaldehyde

<sup>2</sup> Methylene Diphenyl Diisocyanate

<sup>3</sup> Weight Percentage Gain

اختلاف معنی‌دار در بین تیمارها است. جدول شماره ۲، همان‌طور که شکل ۱ نشان می‌دهد با افزایش درصد الکل فورفوریل در تخته‌های ساخته‌شده با چسب UF و MDI مقاومت خمشی نمونه‌ها افزایش یافته است، به طوری که در تخته‌های ساخته‌شده با چسب UF حدود ۵۶ درصد افزایش مقاومت خمشی مشاهده شد. در نمونه‌های ساخته‌شده با چسب MDI تنها در مورد تخته‌های ساخته‌شده‌ای که در سطح ۳۰ درصد اشباع‌شده بودند افزایش مقاومت مشاهده شد و با افزایش سطح اشباع افزایش چشمگیری مشاهده نشد نتایج به دست آمده با یافته‌های Lande و همکاران (۲۰۰۴) و Esteves و همکاران (۲۰۱۱) همخوانی دارد [۴، ۱۰].

#### مدول الاستیسیته

مدول الاستیسیته نشان‌دهنده سختی یا مقاومت چندسازه در مقابل تغییر شکل در محدوده الاستیک است. ابعاد نمونه‌های آزمونی ۱۵۰×۵۵۰ میلی‌متر مطابق استاندارد EN310 در نظر گرفته شد. نمونه‌های آماده‌شده تحت بار فشاری با سرعت ۳ میلی‌متر بر دقیقه قرار گرفتند. برای محاسبه مدول الاستیسیته از معادله زیر استفاده شد.

$$MOE = \frac{L^2 \cdot (F_2 - F_1)}{4 \cdot b \cdot d^2 \cdot (A_2 - A_1)} \quad (3)$$

MOR: مدول الاستیسیته (گیگاپاسکال)

$F_2$ : نیروی ۴۰ درصد (نیوتون)

$F_1$ : نیروی ۱۰ درصد (نیوتون)

$A_2$ : جابجایی در نیروی ۴۰ درصد (میلی‌متر)

$A_1$ : جابجایی در نیروی ۱۰ درصد (میلی‌متر)

L: طول دهانه (میلی‌متر)

b: عرض آزمون (میلی‌متر)

d: ارتفاع (ضخامت) آزمون (میلی‌متر)

درصد و دمای  $20^\circ\text{C}$  قرار گرفتند تا رطوبت تخته‌ها با رطوبت محیط به تعادل برسد. سپس تخته‌ها کناره بری شده و مطابق استاندارد نمونه‌های مورد نیاز برای انجام آزمایش‌های مورد نظر بریده شدند

#### آزمایش‌های فیزیکی و مکانیکی تخته لایه

برای تعیین خواص مکانیکی از دستگاه آزمایشگر Zwick Roell استفاده شد. مدول الاستیسیته و مقاومت خمشی تخته لایه مطابق استاندارد EN310، مقاومت برشی در محل اتصال خط چسب مطابق استاندارد EN314، درصد جذب آب و واکنشیدگی ضخامت برابر استاندارد EN317 تعیین شدند. نتایج با استفاده از روش تجزیه واریانس دوطرفه بین گروهی مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند.

#### نتایج و بحث

##### مدول گسیختگی

مدول گسیختگی از کاربردی‌ترین خواص فرآورده‌های چوبی از جمله چندسازه‌های چوبی است که نمایانگر تحمل فرآورده‌ها در برابر نیروهای خمشی است و اغلب برای مقایسه مواد استفاده می‌شود ابعاد نمونه‌های آزمونی ۱۵۰×۵۵۰ میلی‌متر مطابق استاندارد EN310 در نظر گرفته شد. نمونه‌های آماده‌شده تحت بار فشاری با سرعت ۳ میلی‌متر بر دقیقه قرار گرفتند. برای محاسبه مدول گسیختگی (MOR) از رابطه زیر استفاده شد.

$$MOR = \frac{F_{max} \cdot L}{4 \cdot b \cdot d^2} \quad (2)$$

MOR: مدول گسیختگی (مگا پاسکال)

$F_{max}$ : حداکثر بار وارده (نیوتون)

L: طول دهانه (میلی‌متر)

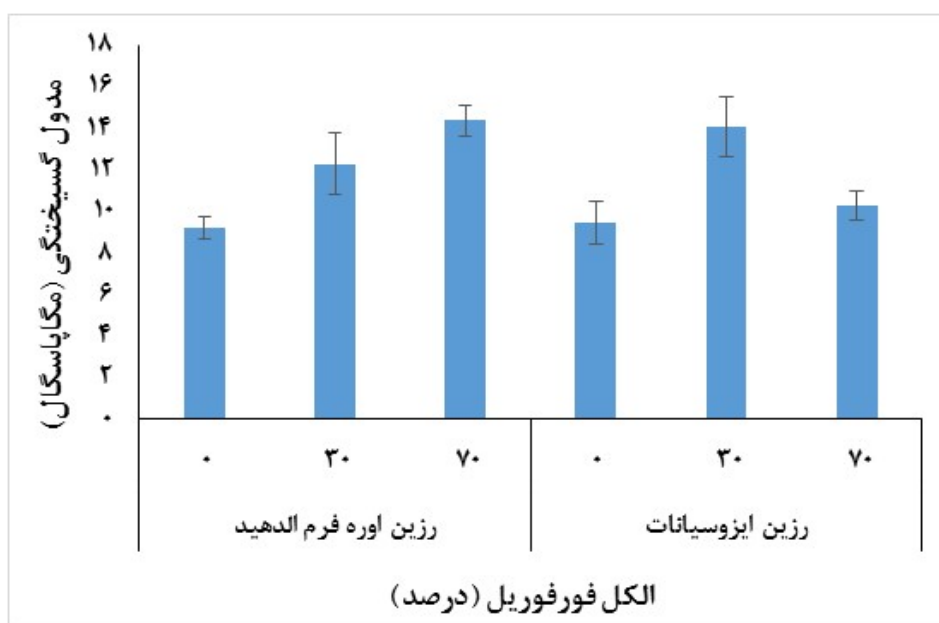
b: عرض آزمون (میلی‌متر)

d: ارتفاع (ضخامت) آزمون (میلی‌متر)

نتایج تجزیه واریانس نمونه‌ها نشان‌دهنده وجود

جدول ۲- تحلیل واریانس دوطرفه اثر مستقل و متقابل عوامل متغیر بر مدول گسیختگی

| عوامل متغیر          | درجه آزادی<br>DF | مجموع مربعات<br>SS | میانگین مربعات<br>MS | F     | sig                 |
|----------------------|------------------|--------------------|----------------------|-------|---------------------|
| درصد اشباع           | ۲                | ۶۵/۰۵              | ۳۲/۵۳                | ۲۹/۳۸ | ۰/۰۰۰**             |
| نوع چسب              | ۱                | ۲/۹۸               | ۲/۹۸                 | ۲/۶۹  | ۰/۱۱۸ <sup>NS</sup> |
| درصد اشباع × نوع چسب | ۲                | ۳۶/۷۴              | ۱۸/۳۷                | ۱۶/۶۰ | ۰/۰۰۰**             |

\*\* تفاوت معنی دار در سطح اطمینان ۹۹ درصد. <sup>NS</sup> عدم تفاوت معنی دار

شکل ۱- تأثیر متقابل اشباع با الکل فورفوریل بر مدول گسیختگی

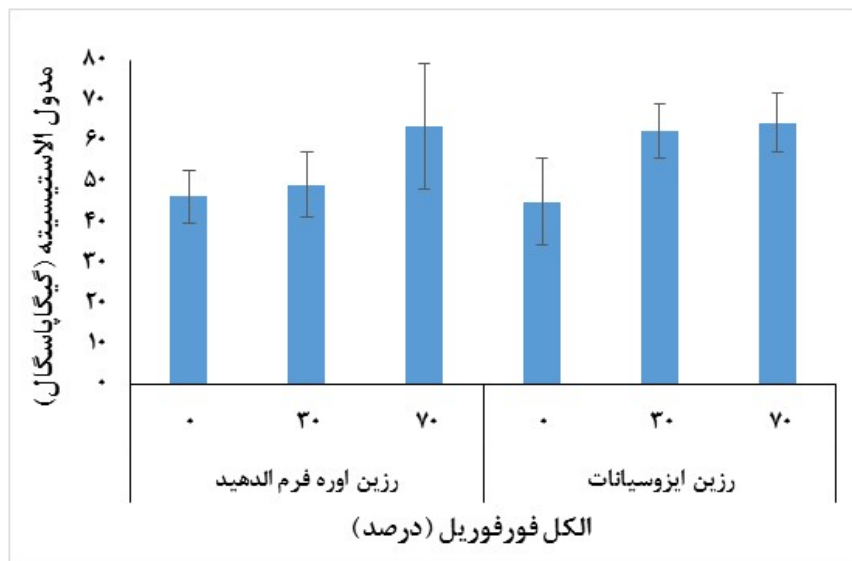
MDI به ترتیب حدود ۳۸ درصد و ۴۳ درصد افزایش یافت. مشابه این نتایج در مقادیر مدول الاستیسیته به دست آمده از چوب ماسیو فورفوریل دار شده نیز گزارش شده است [۱۰]؛ بنابراین با توجه به افزایش مقادیر مدول الاستیسیته ماده اولیه مقادیر MOE فرآورده حاصل نیز افزایش یافته است.

نتایج تجزیه واریانس مقادیر مدول الاستیسیته نمونه‌ها وجود اختلاف معنی داری را بین تیمارها نشان داد (جدول ۳). همان‌طور که شکل ۲ نشان می‌دهد با افزایش درصد فورفوریل‌لاسیون در تخته‌های ساخته شده با چسب UF و MDI مدول الاستیسیته افزایش یافته است، به طوری که مدول الاستیسیته در تخته‌های ساخته شده با چسب UF و

جدول ۳- تحلیل واریانس دوطرفه اثر مستقل و متقابل عوامل متغیر بر مدول الاستیسیته

| عوامل متغیر          | درجه آزادی<br>DF | مجموع مربعات<br>SS | میانگین مربعات<br>MS | F    | sig                 |
|----------------------|------------------|--------------------|----------------------|------|---------------------|
| درصد اشباع           | ۲                | ۱۳۷۵/۲۲۵           | ۶۸۷/۶۱۳              | ۸/۰۲ | ۰/۰۰۳*              |
| نوع چسب              | ۱                | ۱۱۱/۵۰             | ۱۱۱/۵۰               | ۱/۳  | ۰/۲۶۹ <sup>NS</sup> |
| درصد اشباع × نوع چسب | ۲                | ۲۵۰/۱۲۵            | ۱۲۵/۰۶               | ۱/۴۶ | ۰/۲۵۹ <sup>NS</sup> |

\*\* تفاوت معنی دار در سطح اطمینان ۹۹ درصد. <sup>NS</sup> عدم تفاوت معنی دار



شکل ۲- تأثیر متقابل اشباع با الکل فورفوریل بر مدول الاستیسیته

کشش خط چسب است می‌توان با استفاده از معادله زیر محاسبه نمود.

$$Q = \frac{PU}{A} \quad (4)$$

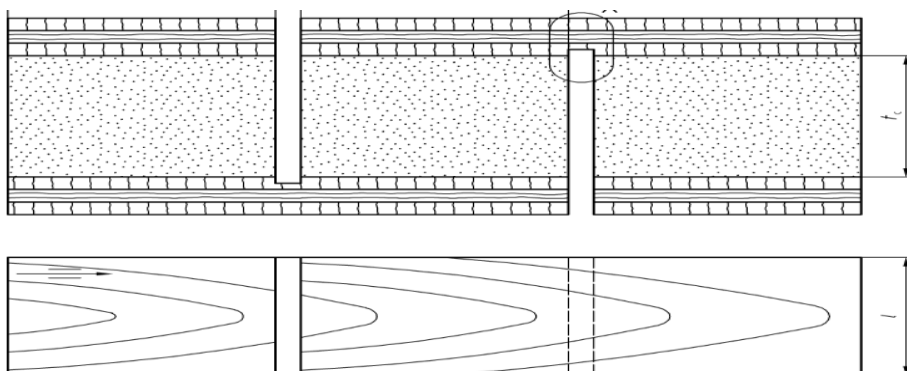
Q: مقاومت برشی خط چسب (مگا پاسکال)

PU: حداکثر بار وارده (نیوتون)

A: سطح مقطع (میلی‌متر)

#### مقاومت برشی خط چسب

متداول‌ترین آزمون تخته لایه آزمون خط چسب است. برای این آزمون نمونه‌ها به ابعاد نمونه‌های آزمونی ۱۵۰×۲۵×۵ میلی‌متر برابر استاندارد EN314 تهیه شدند. سپس نمونه‌ها با استفاده از دستگاه آزمایشگر Zwick Roell تحت بارکشی با سرعت ۳ میلی‌متر بر دقیقه قرار گرفتند اعمال نیرو تا زمان شکست نمونه ادامه داشت. بر پایه نیروی ثبت‌شده، تنش کشش- برش را که همان



شکل ۳- شکل شماتیک نحوه برش لایه‌ها در آزمون مقاومت برشی خط چسب (استاندارد EN314)

است (جدول شماره ۴)، به طوری که در شکل ۴ مشخص است با افزایش درصد فورفوریل‌اسیون، چسبندگی

نتایج تجزیه واریانس نمونه‌ها نشان‌دهنده وجود اختلاف معنی‌دار در بین تیمارها برای خط چسب نمونه‌ها

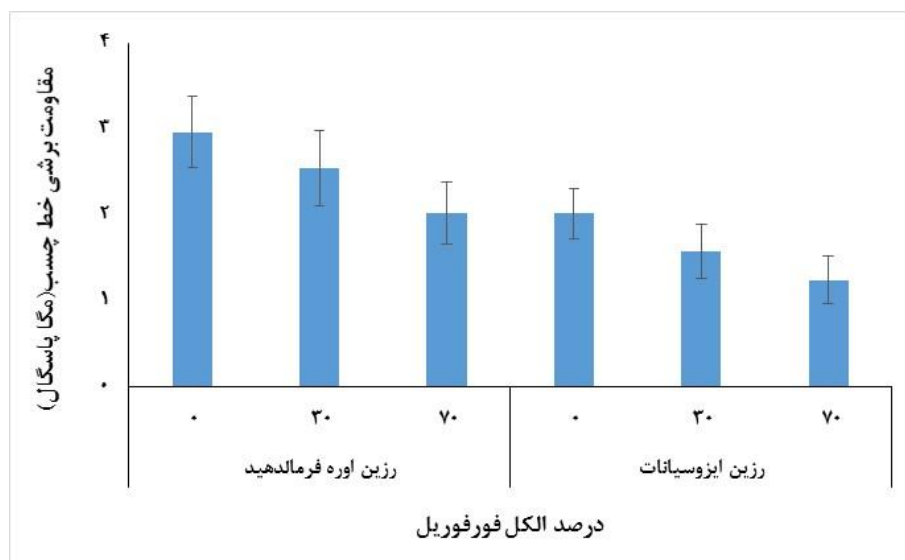
ولی در تر شوندگی ضعیف چسب بر روی فرورفتگی‌ها پل ایجاد می‌کند. بنابراین اگر تماس نزدیک بین چسب با سطح جامد به وجود آید ترک‌های در حفاصل به حداقل رسیده و یا از بین می‌روند، در صورتی که تر شوندگی ضعیف اتفاق افتد تماس واقعی بین چسب و سطح جامد کمتر شده و در امتداد حفاصل محفظه‌های کوچک هوا و نقاط تحت تنش به وجود می‌آید و در اثر این پدیده مقاومت اتصال کمتر می‌شود. در نمونه‌های فورفوریل شده به دلیل ثبات ابعادی بالاتر، تر شوندگی کمتر از نمونه‌های شاهد بوده و سبب کاهش مقاومت برشی خط چسب شده است.

تخته‌های ساخته شده کاهش یافته است از طرفی این کاهش در مورد رزین MDI بیشتر قابل مشاهده است که دلیل آن می‌تواند به علت نفوذ کمتر این رزین به علت نوع حلال آن نسبت به رزین UF باشد [۹]. چسبندگی از طریق جذب مولکول‌های چسب بر روی سطح جامد و در اثر نیروهای جذب (نیروهای ثانویه یا واندروالس) اتفاق می‌افتد. جهت مؤثر شدن این نیروها سطوح متقابل باید به فاصله‌ای کمتر از پنج انگسترم قرار گیرند. بنابراین چسب باید در تماس مولکولی با سطح جامد قرار گیرد (فرایند تر شوندگی). در تر شوندگی خوب چسب به داخل فرورفتگی‌ها و سوراخ‌های سطح جامد به جریان می‌افتد

جدول ۴- تحلیل واریانس دوطرفه اثر مستقل و متقابل عوامل متغیر بر مقاومت خط چسب

| عوامل متغیر          | درجه آزادی<br>DF | مجموع مربعات<br>SS | میانگین مربعات<br>MS | F      | sig                 |
|----------------------|------------------|--------------------|----------------------|--------|---------------------|
| درصد اشباع           | ۲                | ۳/۷۰               | ۱/۸۴۹                | ۱۴/۶۱۷ | ۰/۰۰۰**             |
| نوع چسب              | ۱                | ۶/۰۷               | ۶/۰۷                 | ۴۷/۹۵۴ | ۰/۰۰۰**             |
| درصد اشباع × نوع چسب | ۲                | ۰/۰۵۲              | ۰/۰۲۶                | ۰/۲۰۵  | ۰/۸۱۶ <sup>ns</sup> |

\*\* تفاوت معنی‌دار در سطح اطمینان ۹۹ درصد <sup>ns</sup> عدم تفاوت معنی‌دار



شکل ۴- تأثیر متقابل اشباع با الکل فورفوریل بر مقاومت خط چسب

چندسازه‌ها را تعیین می‌کند. آزمایش ۲ و ۲۴ ساعت غوطه‌وری در آب، مقدار جذب آب توسط چندسازه و تأثیر جذب آب را بر ابعاد فراورده مشخص می‌کند. برای انجام

#### جذب آب بعد از غوطه‌وری در آب

جذب آب در چندسازه‌های لیگنوسولولزی از ویژگی‌های مهمی است که مصارف نهایی این قبیل

با توجه به نتایج آزمون‌های آماری، اختلاف بین تیمارها برای جذب آب تخته‌های ساخته‌شده معنادار بود. (جدول ۵ و ۶) و برای تخته‌های ساخته‌شده با افزایش درصد الکل فورفوریل کاهش جذب آب مشاهده شد نتایج این آزمون در شکل ۵ قابل مشاهده است.

این آزمون نمونه‌های آزمونی مطابق استاندارد EN317 در ابعاد ۵×۵ میلی‌متر تهیه و مورد آزمون قرار گرفتند.

$$WA = \frac{W_2 - W_1}{W_1} * 100 \quad (5)$$

WA: جذب آب (درصد)

W<sub>2</sub>: وزن تر آزمون (گرم)

W<sub>1</sub>: وزن خشک آزمون (گرم)

جدول ۵- تحلیل واریانس دوطرفه اثر مستقل و متقابل عوامل متغیر بر جذب آب بعد از غوطه‌وری در ۲ ساعت

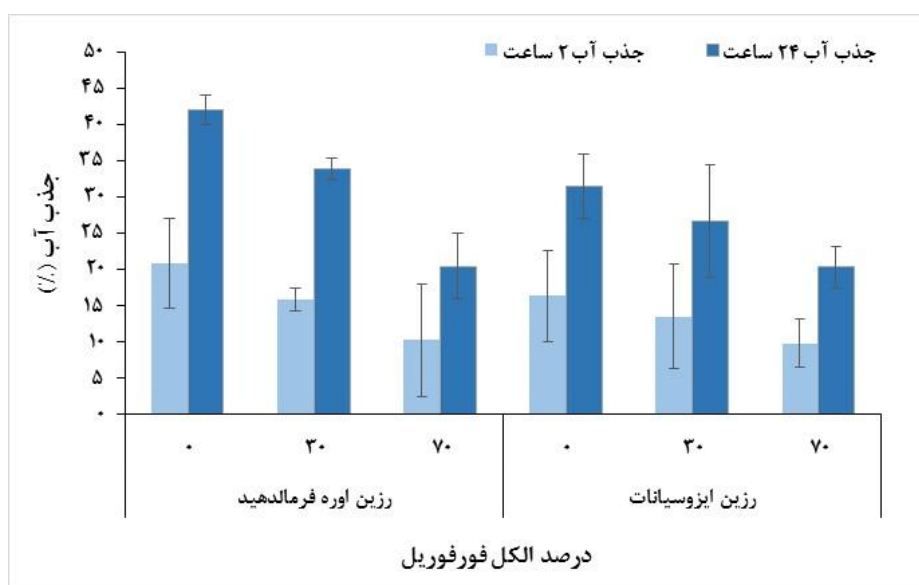
| عوامل متغیر          | درجه آزادی<br>DF | مجموع مربعات<br>SS | میانگین مربعات<br>MS | F    | Sig                 |
|----------------------|------------------|--------------------|----------------------|------|---------------------|
| درصد اشباع           | ۲                | ۳۶۵/۲۶۲            | ۱۸۲/۶۳               | ۵/۸۲ | ۰/۰۰۹*              |
| نوع چسب              | ۱                | ۴۶/۶۰              | ۴۶/۶۰                | ۱/۴۹ | ۰/۲۳۵ <sup>ns</sup> |
| درصد اشباع × نوع چسب | ۲                | ۲۱/۲۰              | ۱۰/۶۰                | ۰/۳۴ | ۰/۷۱۷ <sup>ns</sup> |

\* تفاوت معنی‌دار در سطح اطمینان ۹۵ درصد<sup>ns</sup> عدم تفاوت معنی‌دار

جدول ۶- تحلیل واریانس دوطرفه اثر مستقل و متقابل عوامل متغیر بر جذب آب بعد از غوطه‌وری در ۲۴ ساعت

| عوامل متغیر          | درجه آزادی<br>DF | مجموع مربعات<br>SS | میانگین مربعات<br>MS | F     | Sig                 |
|----------------------|------------------|--------------------|----------------------|-------|---------------------|
| درصد اشباع           | ۲                | ۱۴۰۴/۳۵            | ۷۰۲/۱۷               | ۲۱/۹۷ | ۰/۰۰۰**             |
| نوع چسب              | ۱                | ۲۴۶/۱۹             | ۲۴۶/۱۹               | ۷/۷۰  | ۰/۰۱۱*              |
| درصد اشباع × نوع چسب | ۲                | ۱۲۹/۵۷             | ۶۴/۷۹                | ۲/۰۳  | ۰/۱۵۴ <sup>ns</sup> |

\*\* تفاوت معنی‌دار در سطح اطمینان ۹۹ درصد \* تفاوت معنی‌دار در سطح اطمینان ۹۵ درصد<sup>ns</sup> عدم تفاوت معنی‌دار



شکل ۵- تأثیر متقابل اشباع با الکل فورفوریل بر جذب آب در ۲ و ۲۴ ساعت



$$TS = \frac{T_2 - T_1}{T_1} * 100 \quad (6)$$

TS: واکشیدگی ضخامت (درصد)  
 $T_2$ : ضخامت ثانویه آزمون (میلی متر)  
 $T_1$ : ضخامت اولیه آزمون (میلی متر)

نتایج تجزیه واریانس نمونه‌ها نشان‌دهنده وجود اختلاف معنی‌دار در بین تیمارها برای واکشیدگی ضخامت است (جداول ۷ و ۸)، همان‌طور که در شکل ۶ مشخص است با افزایش درصد الکل فورفوریل در تخته‌های ساخته‌شده واکشیدگی ضخامت کاهش قابل توجهی یافته است که این کاهش در مورد رزین ایزوسیانات بیشتر است چون رزین ایزوسیانات در واکنش‌پذیری مناسب با چوب در محیط‌های با رطوبت بالا نسبت به سایر چسب‌ها برتری دارد [۱۱].

### واکشیدگی ضخامت پس از غوطه‌وری در آب

واکشیدگی ضخامتی یکی از خصوصیات فیزیکی حائز اهمیت چندسازه‌های چوبی است که میزان پایداری ابعاد چندسازه‌ها را در برابر آب مشخص می‌کند. برای اندازه‌گیری میزان واکشیدگی ضخامت پس از ۲ و ۲۴ ساعت، وسط نمونه‌ها (۵۰×۵۰ میلی‌متر مطابق استاندارد EN317) علامت‌گذاری شد. تا در طی زمان آزمایش از این نقطه علامت‌گذاری شده استفاده شود. ضخامت نمونه‌ها، پیش از غوطه‌وری در آب با یک میکرومتر با دقت ۰/۰۱ اندازه‌گیری شد، سپس نمونه‌ها در آب به صورت افقی و به عمق ۲ سانتی‌متر از سطح آب به حالت غوطه‌ور قرار گرفتند. برای حفظ غوطه‌وری نمونه‌ها از توری نازک فلزی روی نمونه‌ها استفاده شد. درصد واکشیدگی ضخامت از رابطه زیر محاسبه شد.

جدول ۷- تحلیل واریانس دوطرفه اثر مستقل و متقابل عوامل متغیر بر واکشیدگی ضخامت بعد از غوطه‌وری در ۲ ساعت

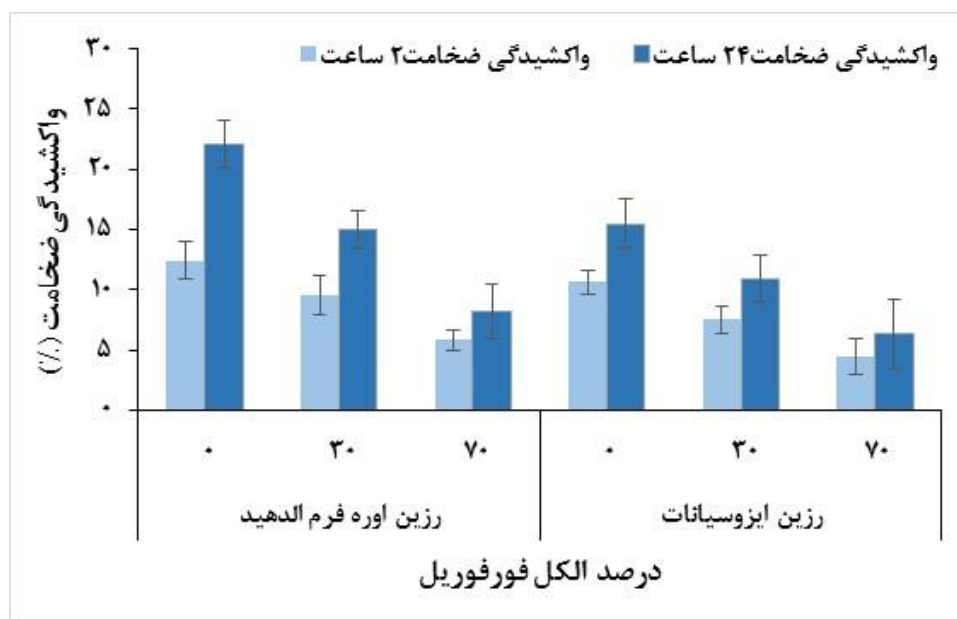
| عوامل متغیر          | درجه آزادی<br>DF | مجموع مربعات<br>SS | میانگین مربعات<br>MS | F     | sig                 |
|----------------------|------------------|--------------------|----------------------|-------|---------------------|
| درصد اشباع           | ۲                | ۳۶۵/۲۶             | ۱۸۲/۶۳               | ۵/۸۲  | ۰/۰۰۹*              |
| نوع چسب              | ۱                | ۴۶/۶۰              | ۴۶/۶۰                | ۱/۴۹  | ۰/۲۳۵ <sup>ns</sup> |
| درصد اشباع × نوع چسب | ۲                | ۲۱/۲۰              | ۱۰/۶۰                | ۱/۳۳۸ | ۰/۷۱۷ <sup>ns</sup> |

\* تفاوت معنی‌دار در سطح اطمینان ۹۵ درصد<sup>ns</sup> عدم تفاوت معنی‌دار

جدول ۸- تحلیل واریانس دوطرفه اثر مستقل و متقابل عوامل متغیر بر واکشیدگی ضخامت بعد از غوطه‌وری در ۲۴ ساعت

| عوامل متغیر          | درجه آزادی<br>DF | مجموع مربعات<br>SS | میانگین مربعات<br>MS | F     | sig                 |
|----------------------|------------------|--------------------|----------------------|-------|---------------------|
| درصد اشباع           | ۲                | ۱۴۰۴/۳۵            | ۷۰۲/۱۷               | ۲۱/۹۷ | ۰/۰۰۰**             |
| نوع چسب              | ۱                | ۲۴۶/۱۹             | ۲۴۶/۱۹               | ۷/۷۰  | ۰/۰۱۱*              |
| درصد اشباع × نوع چسب | ۲                | ۱۲۹/۵۷             | ۶۴/۷۹                | ۲/۰۳  | ۰/۱۵۴ <sup>ns</sup> |

\*\* تفاوت معنی‌دار در سطح اطمینان ۹۹ درصد \* تفاوت معنی‌دار در سطح اطمینان ۹۵ درصد<sup>ns</sup> عدم تفاوت معنی‌دار



شکل ۶- تأثیر متقابل اشباع با الکل فورفوریل بر واکشیدگی ضخامت در ۲ و ۲۴ ساعت

ضخامت تخته‌های ساخته‌شده نیز مؤید کاهش جذب آب و واکشیدگی ضخامت با افزایش درصد فورفوریل‌اسیون بوده است. البته افزایش مقاومت‌ها در مورد رزین ایزوسیاناتات کمتر از رزین اوره فرم آلدهید بود که می‌توان دلیل آن را به مسدود شدن گروه‌های هیدروکسیل در اثر فورفوریل‌اسیون اشاره کرد که باعث کاهش نم‌پذیری چوب می‌شود، پیوندهای هیدروژنی کم‌تری برقرار می‌شود و چون رزین ایزوسیاناتات با گروه‌های هیدروکسیل چوب پیوند برقرار می‌کند اتصال انجام‌شده ضعیف‌تر بوده که باعث کاهش مقاومت‌ها نسبت به رزین اوره فرم آلدهید می‌شود.

### نتیجه‌گیری

نتایج نشان داد که با افزایش درصد فورفوریل‌اسیون در تخته‌های ساخته‌شده مقاومت خمشی و مدول الاستیسیته نمونه‌ها افزایش یافته است. به‌طوری‌که در نمونه‌های ساخته‌شده با رزین UF حدود ۵۶ درصد افزایش مقاومت خمشی و حدود ۲۸ درصد افزایش مدول الاستیسیته مشاهده شد. وجود اختلاف معنی‌دار در بین تیمارها برای آزمون مقاومت برشی خط چسب دیده شد به‌طوری‌که با افزایش فورفوریل‌اسیون از ۰ به ۷۰ درصد مقاومت برشی خط چسب به‌طور معناداری کاهش یافت که البته این کاهش در مورد رزین ایزوسیاناتات بیشتر بود. اختلاف بین تیمارها برای جذب آب و واکشیدگی

### منابع

- [1] De Vetter, L., Pilgård, A., Treu, A., Westin, M. and Van Acker, J., 2009. Combined evaluation of durability and ecotoxicity: A case study on furfurylated wood. *Wood Material Science and Engineering*, 4(1-2):30-36.
- [2] Lande, S., Eikenes, M. and Westin, M., 2004. Chemistry and ecotoxicology of furfurylated wood. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 19(5): 14-21.
- [3] Li, Y. Liu, Y.F.Y., Wu, Q. and Wang, X.M., 2008. Structural characterization of wood polymer composite prepared by in situ polymerization of styrene. *Science and Technology*, 100: 80-95.

- [4] Lande, S., Westin, M. and Schneider, M., 2004. Properties of furfurylated. wood. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 19(5):22-30.
- [5] Anaya, M., 1987. Impregnation procedure based on furfuryl alcohol monomer into wood and other materials, Cuban patent CU21453.
- [6] Schneider, M.H., 1995. New cell wall and cell lumen wood polymer composites. *Journal of Wood Science and Technology*, 29:135-158.
- [7] Thygesen, L.G., Barsberg, S. and Venas, T.M., 2010. The fluorescence characteristics of furfurylated wood studied by fluorescence spectroscopy and confocal laser scanning microscopy. *Journal of Wood Science and Technology*, 44:51-65.
- [8] Abdolzadeh, H., Ebrahimi, G., Layeghi, M., Ghassemie, M. and Mirshokrai, S. A., 2013. Mechanical properties of Beech -Furfuryl alcohol wood polymer. *Iranian. Journal of Wood and Paper Science Research*, 2 :143-155.(In Persian).
- [9] Zheng, J., Fox, S.C. and Frazier, C.E., 2004. Rheological wood penetration, and fracture performance studies of PF/pMDI hybrid resins. *Forest Product Journal*, 54(10):74-81.
- [10] Esteves, B., Nunes, L. and Pereira, H., 2011. Properties of furfurylated wood (*Pinus pinaster*). *European Journal of Wood and Wood Products*, 69(4): 521-525.
- [11] symposium series 192. Rowell RM, Ellis WD .,1981. Bonding of isocyanates to wood, chap 19. In: Edwards KN (ed) *American Chemical Society American Chemical Society*, Washington, DC, pp 263-284.
- [12] EN 310., 1993. Wood-based panels, determination of modulus of elasticity in bending and bending strength. *European Committee for Standardization*, Brussels.
- [13] EN 314 plywood-bonding quality. *European Committee for Standardization*, 2004. p. 20.
- [14] EN 317 .,1993. Particleboards and fiberboards, determination o swelling in thickness after immersion. *European Committee for Standardization*, Brussels.

## Influence of furfurylation on practical properties of beech plywood

### Abstract

In this study, the influence of furfurylation on practical properties of beech plywood was investigated. Furfurylation of beech layers were performed by impregnation and heat catalyze up to 30% and 70% weight percent gain. Plywood specimens were made by 2 resins (Urea Formaldehyde and Methylene Diphenyl Diisocyanate). Practical properties of furfurylated specimens were investigated and compared to untreated specimens. Modulus of rupture (MOR), modulus of elasticity (MOE), shear strength, water absorption and thickness swelling were determined. Results revealed that by increasing the furfurylation level, modulus of elasticity (MOE), water absorption and thickness swelling (dimensional stability) improved. But modulus of rupture (MOR) just increased up to 30% furfurylation and decreased in higher levels of furfurylation. Furfurylation had a negative effect on shear strength of bond line and decreased by an increase in the furfurylation level.

**Key words:** furfurylation, beech plywood, physical and mechanical properties.

**A. Talaei<sup>1\*</sup>**  
**M. Tavakoliyan<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Assistant Professor, Department of Wood science & Technology, Civil Engineering Faculty, Shahid Rajaei Teacher Training University, Tehran, Iran

<sup>2</sup> MSc Student Department of Wood science & Technology, Civil Engineering Faculty, Shahid Rajaei Teacher Training University, Tehran, Iran

Corresponding author:

[talaei.srttu@gmail.com](mailto:talaei.srttu@gmail.com)

Received: 2015/07/07

Accepted: 2015/11/17