



## A Study of the Physical and Mechanical Properties of Scots Pine Fire Retardant Treated Thermowood

Anooshe Fazeli<sup>1\*</sup>, Aisona Talaei<sup>2</sup>

<sup>1</sup>PhD Student, Department of Wood Technology and Engineering, Faculty of Wood and Paper Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran.

<sup>2</sup>Assistant Professor, Department of Wood Science and Technology, Faculty of Materials Engineering and New Technologies, Shahid Rajaei Teacher Training University, Tehran, Iran.

### ARTICLE INFO

**Received:** 11.03.2020

**Revised:** 08.21.2020

**Accepted:** 09.05.2020

#### Keyword:

Thermowood  
Fire retardancy  
Surface roughness  
Color changing  
Glueline shear strength

#### \*Corresponding Author:

Anooshe Fazeli

**Email:**

[anushhefazeli3731@gmail.com](mailto:anushhefazeli3731@gmail.com)

### ABSTRACT

In the present study, the physical and mechanical properties of fire retardant treated thermowood of scots pine (*Pinus sylvestris* L.) was evaluated. Specimens were impregnated with %7 solution of borax fire retardant for 40 minutes at the pressure of 4 bars. Heat treatments were carried out at temperatures of 170 °C and 190 °C for 3 hours. Surface quality, color change and glueline shear strength of specimens were verified. Surface roughness according to ISO-4287 and color change according to ASTM D-2244 were studied with variables of impregnation and heat treatment temperature. Glueline shear strength was measured according to ASTM D-905 with variables of impregnation, heat treatment temperature and resin type. Results indicated that borax fire retardant increased surface roughness while heat treatment decreased surface roughness. As heat treatment temperature increased, the surface roughness diminished. Color of specimens became darker as the temperature of heat treatment was raised. Fire retardant treated thermowood showed the most color change. Impregnating with borax weakened the bonding strength. Glueline shear strength in fire retardant treated specimens was higher than fire retardant treated thermowood. Fire retardant treated thermowoods displayed greater glueline shear strength than thermowoods.





دانشگاه فنی و حرفه‌ای  
تجارت و خدمات

کارافن

فصلنامه علمی دانشگاه فنی و حرفه‌ای

تابستان ۱۳۹۹، دوره ۱۷، شماره ۲، ۶۸-۵۵

آدرس نشریه: <https://karafan.tvu.ac.ir/>

doi:10.48301/KSSA.2021.119212

20.1001.1.23829796.1399.17.2.4.8



شاپای الکترونیکی: ۲۵۳۸-۴۴۳۰

شاپای چاپی: ۲۳۸۲-۹۷۹۶

مقاله پژوهشی

## بررسی ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی چوب کاج جنگلی کندسوز و ترموود شده

انوشه فاضلی<sup>۱\*</sup>، آیسونا طلایی<sup>۲</sup>

- ۱- دانشجوی دکترا، گروه تکنولوژی و مهندسی چوب، دانشکده مهندسی چوب و کاغذ، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ایران.
- ۲- استادیار، گروه علوم و صنایع چوب، دانشکده مهندسی مواد و فناوری‌های نوین، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی، تهران، ایران.

### چکیده

در پژوهش حاضر، ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی چوب کاج جنگلی (*Pinus sylvestris* L.) کندسوز و ترموود شده بررسی شد. به این منظور، اشباع نمونه‌ها با محلول کندسوزکننده بوراکس با غلظت ۷ درصد و به مدت ۴۰ دقیقه و در فشار ۴ بار انجام شد. تیمار حرارتی در دماهای ۱۷۰ °C و ۱۹۰ °C و به مدت ۳ ساعت انجام شد. کیفیت سطح، تغییر رنگ و مقاومت برشی خط چسب نمونه‌ها بررسی شد. زبری سطح طبق استاندارد ISO-4287 و رنگ‌سنجی مطابق استاندارد ASTM D-2244 و با عوامل متغیر اشباع و دمای تیمار حرارتی انجام شد. مقاومت برشی خط چسب با عوامل متغیر اشباع، دمای تیمار حرارتی و نوع چسب، مطابق استاندارد ASTM D-905 انجام شد. نتایج نشان داد اشباع نمونه‌ها با کندسوزکننده بوراکس، موجب افزایش زبری سطح و تیمار حرارتی سبب کاهش زبری سطح گردید. با افزایش دمای تیمار حرارتی، زبری سطح کاهش یافت. در اثر افزایش دمای تیمار حرارتی، رنگ نمونه‌ها تیره‌تر شد. بیشترین تغییر رنگ در نمونه‌های کندسوز و ترموود شده مشاهده شد. در اثر اشباع با بوراکس، مقاومت اتصال ضعیف شد. مقاومت برشی خط چسب در نمونه‌های کندسوز شده، بیشتر از نمونه‌های کندسوز و ترموود شده بود. در نمونه‌های کندسوز و ترموود شده، نسبت به ترموودها مقاومت برشی خط چسب بیشتری، مشاهده شد.

### اطلاعات مقاله

دریافت مقاله: ۱۳۹۸/۱۲/۲۱

بازنگری مقاله: ۱۳۹۹/۰۵/۳۱

پذیرش مقاله: ۱۳۹۹/۰۶/۱۵

### کلید واژگان:

ترموود  
کندسوزشوندگی  
زبری سطح  
تغییر رنگ  
مقاومت برشی خط چسب

\*نویسنده مسئول: انوشه فاضلی

پست الکترونیکی:

[anushehfazeli3731@gmail.com](mailto:anushehfazeli3731@gmail.com)



© 2020 Technical and Vocational University, Tehran, Iran. This article is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution-Noncommercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0 license) (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>).

## مقدمه

کیفیت سطح یکی از مهم‌ترین خواص چوب فرآوری نشده و یکی از مهم‌ترین موارد توجه به آن در صنعت چوب بوده است. کیفیت سطح چوب علاوه بر زیبایی‌شناسی، به کارکرد آن نیز مربوط است [۱]. برای ارزیابی کیفیت سطح چوب عواملی مانند ساختار آناتومیک چوب، ویژگی‌های رشد و پیش‌تیمارهای چوب باید در نظر گرفته شود [۲]. خواص سطح محصولات چوبی باید با معیارهای مورد نیاز بازار مطابق باشد [۳]. یکی از بهترین روش‌ها برای بهبود خواص چوب، تیمار حرارتی است. تیمار حرارتی چوب علاوه بر آن که موجب نرم شدن و بالارفتن کیفیت سطح می‌شود، تغییرات دیگری نیز در خواص آن ایجاد می‌کند. تیمار حرارتی چوب راهی برای افزایش مقاومت به پوسیدگی و ثبات ابعاد آن شناخته شده است؛ اما چوب‌های تیمار حرارتی شده یا ترموودها در برابر آتش مقاومت اندکی نشان می‌دهند. طبق تحقیقات چکوفسکا و همکاران (۲۰۱۷) چوب ترموود شده، مستعد آتش‌گیری می‌باشد و تیمارهای حرارتی در دماهای بالاتر، موجب افزایش سرعت اشتعال چوب می‌شود [۴]. ترکیب کردن تیمار حرارتی و اشباع با ترکیبات بور راهی برای غلبه بر این گونه مشکلات است [۵]. موثرترین مواد کندسوزکننده چوب، ترکیباتی شامل برم، کلر، فسفر یا ترکیبی از این عناصر هستند. عناصر دیگر که اثر کندسوزکنندگی از خود نشان داده‌اند، شامل آنتی‌مان، بور، نیتروژن، سیلیکون و روی می‌باشد [۶]. کارتال و همکاران (۲۰۰۷) [۷] اظهار داشتند ترکیبات بر پایه بور، گسترش شعله آتش را کم می‌کند [۷]. ترکیبات بر پایه بور از قبیل اسید بوریک و بوراکس، موثرترین مواد کندسوزکننده چوب شناخته شده‌اند. کیفیت سطح چوب در اثر تیمار حرارتی و اشباع با ترکیبات بور، دستخوش تغییراتی می‌شود. گوراو و همکاران (۲۰۱۹) زبری سطح ترموود راش را پس از سنباده‌زنی با درجات ۶۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ بررسی کردند. تیمار حرارتی در دمای ۲۰۰ درجه سانتی‌گراد و به مدت ۲/۵ ساعت انجام شد. نتایج مطالعات آنان نشان داد تیمار حرارتی، زبری سطح را آهسته افزایش داد و نیز زبری سطح با افزایش درجه سنباده، افزایش یافت [۸]. کارلیناسری و همکاران (۲۰۱۸) زبری سطح و ترشوندگی ترموود ساخته شده از گونه چوبی آکاسیا را بررسی کردند. تیمار حرارتی در دماهای ۱۲۰، ۱۵۰ و ۱۸۰ درجه سانتی‌گراد و به مدت ۲ و ۶ ساعت انجام شد. نتایج مطالعات آنان دال بر کاهش دانسیته، رطوبت تعادل و زبری سطح نمونه‌های چوبی بود [۹]. سالکا و هیزبروغلو (۲۰۱۴) اقدام به ساخت ترموودهای توسکا، بلوط قرمز، کاج جنوبی و صنوبر در دو دمای ۱۲۰ و ۱۹۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۳ و ۶ ساعت کردند. نتایج مطالعات آنان ناظر بر کاهش زبری سطح نمونه‌های چوبی ترموود شده بود [۱۰]. تحقیقات آیدین و کولاک اوغلو (۲۰۰۵) دلالت بر آن داشت که روکش‌های چوبی راش و توسکا با افزایش دمای تیمار حرارتی، کیفیت سطح بالاتری نشان داد [۱۱]. سیمسک و بایسال (۲۰۱۵) به اشباع چوب راش با استفاده از آمونیوم پنتابورات اکتاهیدرات، آمونیوم تترافلوئوربورات و سدیم تترافلوئوربورات پرداختند. نتایج تحقیقات آنان حاکی از آن بود که اشباع با بورات‌ها سبب افزایش دانسیته و زبری سطح نمونه‌های چوبی گردید [۱۲]. اوزدمیر و همکاران (۲۰۱۵) با بررسی خواص سطح گونه‌های چوبی کاج، راش و شاه بلوط اشباع شده با بوریک اسید، CCA و تانالیتم اعلام کردند زبری سطح چوب در اثر اشباع با مواد حفاظتی افزایش یافت. بر طبق نتایج مطالعات آنان بیشترین زبری سطح در شاه بلوط اشباع شده با بوریک اسید و کمترین زبری سطح در کاج اشباع شده با مواد حفاظتی حلال‌پایه مشاهده شد [۱۲]. غفرانی و فاضلی (۱۳۹۸) امکان استفاده از کاه گندم را به عنوان ماده‌ای جایگزین چوب در ساخت تخته‌خرده‌چوب بررسی کردند [۱۳]. رنگ، ویژگی بسیار مهم چوب برای مصرف‌کننده نهایی است و در بسیاری از مواقع عامل تعیین‌کننده برای انتخاب یک چوب خاص می‌باشد؛ چرا که در اغلب موارد جنبه زینتی و دیداری بر بقیه جوانب برتری دارد. رنگ طبیعی روشن و زرد چوب به دلیل وجود کروموفورها در لیگنین و مواد استخراجی می‌باشد. در لیگنین بخش‌هایی وجود دارد که ساختارهای کینون دارد که دلیل اصلی رنگ زرد چوب می‌باشد [۱۴]. رنگ‌هایی همچون قهوه‌ای، بنفش، سیاه، قرمز، نارنجی و غیره در درون چوب بسیاری از گونه‌های چوبی دیده می‌شود که به دلیل وجود ترکیبات فنولی مانند تان‌ها، لیگنان‌ها، فلاونوئیدها، کینون‌ها و غیره است [۱۵]. رنگ چوب، از جمله مهم‌ترین خواص سطحی چوب است که با تیمار حرارتی تغییر می‌کند [۱۶]. هنگام تیمار حرارتی و خشک

شدن چوب، رنگ‌های قهوه‌ای و قرمز تشکیل می‌شود [۱۷]. وان نگوین و همکاران (۲۰۱۸) تغییرات رنگ ترموود کاج سیاه و صنوبر را تحت دماهای ۱۸۰، ۱۹۰، ۲۰۰، ۲۱۰ و ۲۲۰ درجه سانتی‌گراد بررسی کردند. نتایج تحقیقات آنان نشان داد با افزایش دما و زمان تیمار حرارتی، تغییرات رنگ نمونه‌ها افزایش و روشنی نمونه‌ها کاهش یافت [۱۸]. گورلین و همکاران (۲۰۱۷) [۱۶] خواص سطح پارکت حاصل از چوب کاج ترموود شده تحت دماهای ۱۹۰ و ۲۱۲ درجه سانتی‌گراد را در مدت ۱ و ۲ ساعت مطالعه کردند. نتایج مطالعات آنان نشان داد که در اثر تیمار حرارتی رنگ قرمز در نمونه‌ها افزایش و روشنی و براقیت نمونه‌ها کاهش یافت [۱۶]. سیکورا و همکاران (۲۰۱۸) تغییرات رنگ و تغییرات شیمیایی ترموود نوتل و بلوط را تحت دماهای ۱۶۰، ۱۸۰ و ۲۲۰ درجه سانتی‌گراد بررسی کردند. بر طبق یافته‌های آنان، ترموودهای بلوط در همه دماها، تغییر رنگ کمتری نسبت به نوتل نشان داد. همچنین در اثر تیمار حرارتی، میزان سلولز، لیگنین و مواد استخراجی نمونه‌ها افزایش و میزان همی‌سلولز کاهش یافت و در اثر اکسیداسیون نمونه‌ها، گروه‌های کربونیل و کربوکسیل تشکیل شد [۱۹]. شاهین کل و همکاران (۲۰۱۷) خواص فیزیکی و مکانیکی ترموود راش اشباع شده با بوریک اسید و بوراکس را بررسی کردند. نتایج تحقیقات آنها نشان داد که پس از تیمار حرارتی، رنگ نمونه‌ها تیره‌تر شد؛ اما اشباع نمونه‌ها موجب کاهش تغییر رنگ شده و کمترین تغییرات رنگ در نمونه‌های اشباع شده با بوریک اسید مشاهده شد [۲۰]. بحرانی‌ترین بخش سازه‌های چوبی، اتصال‌های آن است و انتخاب چسب مناسب برای تقویت استحکام اتصال‌ها ضروری است. در ساخت سازه‌های چوبی شناخت خواص انواع اتصال‌ها و بررسی مقاومت آنها به خصوص در برابر نیروهای برشی ضروری است. یکی از پیامدهای تغییرات شیمیایی در ساختار چوب، تغییر در عملکرد اتصال آن است. چوب که ذاتاً آبدوست است در اثر تیمار حرارتی آب‌گریز شده [۲۱] و در این حالت، توزیع چسب بر سطح چوب و نفوذ آن به ساختار متخلخل چوب تغییر می‌کند [۲۲]. در این راستا، تحقیقات یویکر و هزبروگلو (۲۰۱۷) در خصوص بررسی مقاومت برشی خط چسب چوب سدر فشرده شده و ترموود شده در دماهای ۱۰۰ و ۱۸۰ درجه سانتی‌گراد حاکی از آن بود که با افزایش دمای تیمار حرارتی، زبری سطح نمونه‌ها کاهش یافت. همچنین مقاومت برشی خط چسب نمونه‌های ترموود شده در مقایسه با نمونه شاهد، کاهش یافت [۲۳]. هدف از پژوهش حاضر بررسی زبری سطح، تغییر رنگ و مقاومت برشی خط چسب‌های پلی‌اورتان و پلی‌وینیل استات در چوب کاج جنگلی کندسوز شده با بوراکس و ترموود شده در دماهای ۱۷۰ و ۱۹۰ درجه سانتی‌گراد بود.

## روش شناسی

گونه چوبی کاج جنگلی (*Pinus sylvestris L.*) با چگالی  $0.41 \text{ g/cm}^3$  از بازار چوب‌فروشان تهیه و به کارگاه صنایع چوب منتقل شد. همه نمونه‌های تهیه شده عاری از هرگونه معایب رشد و کج‌تاری بود. چوب کاج جنگلی دارای چوب‌درون مشخص و مجاری مترشحه صمغی می‌باشد. در این گونه چوبی، تبدیل چوب بهاره به تابستانه کاملاً مشخص و حد دوایر سالیانه کاملاً نمایان است. میانگین مدول گسیختگی این گونه چوبی در رطوبت ۱۲٪، ۸۴ مگاپاسکال و میانگین مدول الاستیسیته ۸/۹ گیگاپاسکال گزارش شده است [۲۴]. بر طبق استاندارد TS 2471 نمونه‌های چوبی برای رسیدن به رطوبت ۱۲٪، به مدت ۳ هفته در دمای  $20 \pm 2^\circ \text{C}$  و رطوبت نسبی  $65 \pm 5\%$  کَلیماتیزه شد [۲۵]. پس از آن، اشباع نمونه‌ها در سیلندر فولادی تحت فشار ۴ بار و به مدت ۴۰ دقیقه با محلول آبی کندسوزکننده بوراکس (دی‌سدیم تترابورات پنتاهیدرات)<sup>۱</sup> با غلظت ۷٪ انجام شد. پس از عملیات کندسوز کردن، تیمار حرارتی خشک در دماهای  $170^\circ \text{C}$  و  $190^\circ \text{C}$  به مدت ۳ ساعت در آن انجام شد. در انتها نمونه‌ها مجدداً به مدت ۳ هفته در دمای  $20 \pm 2^\circ \text{C}$  و رطوبت نسبی  $65 \pm 5\%$  کَلیماتیزه شد.

<sup>۱</sup>  $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$

**اندازه‌گیری زبری سطح:** برای اندازه‌گیری زبری سطح، نمونه‌ها به ابعاد  $۱۵۰ \times ۱۰۰ \times ۲۰$  میلی‌متر تهیه شد و همه نمونه‌ها با استفاده از سنباده ۱۸۰ پرداخت شد. زبری سطح با استفاده از دستگاه زبری‌سنج Surface Roughness Tester ساخت چین مدل SR9210 طبق استاندارد ISO-4287 در جهت عمود بر الیاف به روش پروفیلومتری و جابه‌جایی عمودی حسگر مکانیکی، اندازه‌گیری شد. از پروفیلومتر برای اندازه‌گیری مقادیر زبری سطح متوسط  $(R_a)^1$ ، میانگین ۱۰ نقطه شامل ۵ قله و ۵ دره  $(R_z^2)$ ، بیشینه ارتفاع قله و دره  $(R_t)^3$  و ریشه میانگین مربعات مختصات پروفیل زبری  $(R_q)^4$  قبل و بعد از تیمارها استفاده شد. عوامل متغیر در این آزمون شامل دمای تیمار حرارتی در ۳ سطح شاهد، ۱۷۰ و ۱۹۰ درجه سانتی‌گراد، اشباع با بوراکس در ۲ سطح اشباع نشده و اشباع شده بود. تعداد تکرار مشاهدات ۶ عدد در نظر گرفته شد.

$$Ra = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i| \quad (۱): \text{ زبری سطح متوسط}$$

$$Rz = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n z(n) \max - z(n) \min \quad (n=۵) \quad (۲): \text{ میانگین ارتفاع ناهمواری‌های ۱۰ نقطه پروفیل}$$

$$Rt = Z \max - Z \min \quad (۳): \text{ بیشینه ارتفاع قله و دره}$$

$$Rq = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |z^2(n)|} \quad (۴): \text{ ریشه میانگین مربعات مختصات پروفیل زبری}$$

**اندازه‌گیری تغییر رنگ:** تغییر رنگ نمونه‌ها با دستگاه Precision colorimeter 3nh- NR 145 ساخت چین مطابق استاندارد ASTM D-2244 اندازه‌گیری شد. نمونه‌ها به ابعاد  $۱۵۰ \times ۱۰۰ \times ۲۰$  میلی‌متر آماده شد. برای مقایسه شدت تغییر رنگ کلی نمونه‌ها، قبل و بعد از تیمار از رابطه  $\Delta E$  استفاده شد (رابطه ۸). در فضای LAB،  $L^*$  بیانگر روشنی بود و از ۰ (تیرگی) تا ۱۰۰ (سفید) متغیر است.  $a^*$  و  $b^*$  مختصات رنگ می‌باشد.  $a^*$  محور قرمز/سبز (+) به سمت قرمز و (-) به سمت سبز، و  $b^*$  محور زرد/آبی (+) به سمت زرد و (-) به سمت آبی است. عوامل متغیر در این آزمون، شامل دمای تیمار حرارتی در ۳ سطح شاهد، ۱۷۰ و ۱۹۰ درجه سانتی‌گراد، اشباع با بوراکس در ۲ سطح اشباع نشده و اشباع شده بود. آزمون رنگ‌سنجی با ۶ تکرار انجام شد.

$$\Delta a^* = a^*_t - a^*_{ut} \quad (۵): \text{ تغییرات شاخص } a^* \text{ قبل و بعد از تیمار}$$

$$\Delta b^* = b^*_t - b^*_{ut} \quad (۶): \text{ تغییرات شاخص } b^* \text{ قبل و بعد از تیمار}$$

$$\Delta L^* = L^*_t - L^*_{ut} \quad (۷): \text{ تغییرات شاخص } L^* \text{ قبل و بعد از تیمار}$$

$$\Delta E^* = \sqrt{(\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2 + (\Delta L^*)^2} \quad (۸): \text{ تغییر رنگ کلی}$$

**اندازه‌گیری مقاومت برشی خط چسب:** آزمون مقاومت برشی خط چسب طبق استاندارد ASTM D-905 و با سرعت بارگذاری ۳ میلی‌متر بر دقیقه انجام شد. ابعاد نمونه‌ها  $۵۰ \times ۵۰ \times ۲۰$  میلی‌متر بود. برای ساخت نمونه‌ها از چسب

<sup>1</sup> Average Surface Roughness

<sup>2</sup> Mean Peak-to-Valley Height

<sup>3</sup> Largest Peak- to-Valley Height

<sup>4</sup> Root Mean Squared

<sup>5</sup> Treated

<sup>6</sup> Untreated

پلی‌اورتان دو جزئی و چسب پلی‌وینیل استات استفاده شد. عوامل متغیر در این آزمون، شامل دمای تیمار حرارتی در سه سطح شاهد، ۱۷۰ و ۱۹۰ درجه سانتی‌گراد، اشباع با بوراکس در دو سطح اشباع نشده و اشباع شده و نوع چسب در دو سطح پلی‌اورتان و پلی‌وینیل استات بود. تعداد تکرار برای آزمون مقاومت برشی خط چسب، ۶ بار در نظر گرفته شد.

$$Q = \frac{Fu}{A} \quad (۹) \quad \text{مقاومت برشی خط چسب}$$

$F_u$ : حداکثر بار وارد شده بر نمونه (نیوتون)،  $A$ : سطح مقطع نمونه (میلی‌متر مربع)

جدول ۱. مشخصات چسب‌های مورد استفاده

| نوع چسب         | دانسیته<br>(g/cm <sup>3</sup> ) | مواد جامد<br>(درصد) | زمان ژل شدن<br>(دقیقه) | رنگ       |
|-----------------|---------------------------------|---------------------|------------------------|-----------|
| پلی‌اورتان      | ۱/۱۷ - ۱/۵                      | ۹۵ - ۱۰۰            | ۶۰                     | خردلی     |
| پلی‌وینیل استات | ۱/۱ - ۱/۵                       | ۶۰ - ۶۵             | ۱۰ - ۲۰                | سفید شیری |

طرح آماری: نتایج حاصل از این پژوهش، با استفاده از آزمون مدل خطی تعمیم‌یافته (GLM)<sup>۱</sup> با سطح اعتماد ۹۵ درصد در نرم‌افزار مینی‌تب، تجزیه و تحلیل شد. میانگین داده‌ها با گروه‌بندی توکی مقایسه شد.

### یافته‌ها

همان‌طور که در جدول ۲ نشان داده شده است، بیشترین و کمترین زبری سطح متوسط، به ترتیب در نمونه‌های کندسوز شده به میزان ۸/۷۰ میکرومتر و در نمونه‌های ترموود شده ۱۹۰ °C به میزان ۲/۴۶ میکرومتر مشاهده شد. نتایج تحلیل واریانس با سطح اعتماد ۹۵ درصد نشان داد، تأثیر مستقل اشباع با بوراکس بر مقادیر  $R_q$  و  $R_t$ ،  $R_z$ ،  $R_a$  زبری سطح، معنی‌دار بود؛ بدین معنا که در اثر اشباع با بوراکس، مقادیر  $R_q$ ،  $R_t$ ،  $R_z$ ،  $R_a$  افزایش معنی‌داری را نشان داد. اثر مستقل دمای تیمار حرارتی بر مقادیر  $R_q$  و  $R_t$ ،  $R_z$ ،  $R_a$  و  $R_q$  زبری سطح، اختلاف معنی‌داری را نشان داد؛ به طوری که با افزایش دمای تیمار حرارتی، مقادیر  $R_q$  و  $R_t$ ،  $R_z$ ،  $R_a$  کاهش قابل توجهی نشان دادند. اثر متقابل تیمار حرارتی و بوراکس بر مقادیر  $R_q$  و  $R_t$ ،  $R_z$ ،  $R_a$  معنی‌دار بود (جدول ۳). نتایج گروه‌بندی توکی نیز مؤید این امر بود (جدول ۲).

جدول ۲. میانگین شاخص‌های زبری سطح و شاخص‌های رنگ‌سنجی

| اشباع         | تیمار<br>حرارتی      | مقادیر<br>آماري | $R_a$ | $R_z$ | $R_t$ | $R_q$ | $a^*$ | $b^*$ | $L^*$ | $\Delta E$ |
|---------------|----------------------|-----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------------|
| شاهد          | میانگین<br>گروه‌بندی | ۳/۱۷            | ۹     | ۹/۰۹  | ۳/۲۷  | ۷/۱۳  | ۱۹/۹۴ | ۸۴/۴۴ | -     |            |
|               |                      | $c$             | $C$   | $c$   | $c$   | $d$   | $C$   |       |       |            |
| اشباع<br>نشده | میانگین<br>گروه‌بندی | ۲/۸۹            | ۸/۵۷  | ۸/۶۱  | ۳/۰۳  | ۱۵/۱۱ | ۲۷/۹۱ | ۶۳/۰۱ | ۲۴/۲۴ |            |
|               |                      | $c$             | $C$   | $c$   | $cd$  | $a$   | $a$   | $c$   |       |            |
| ۱۷۰ °C        | میانگین<br>گروه‌بندی | ۲/۴۶            | ۶/۷۰  | ۷/۰۳  | ۲/۵۵  | ۱۴/۰۷ | ۲۴/۵۸ | ۵۶/۹۵ | ۲۸/۷۸ |            |
|               |                      | $c$             | $C$   | $c$   | $d$   | $a$   | $b$   | $d$   |       |            |
| ۱۹۰ °C        | میانگین<br>گروه‌بندی | ۸/۷۰            | ۲۳/۳۰ | ۲۴/۷۹ | ۷/۶۰  | ۹/۸۱  | ۲۳/۷۰ | ۷۳/۶۲ | ۱۱/۹۳ |            |
|               |                      | $a$             | $A$   | $a$   | $a$   | $c$   | $b$   | $b$   |       |            |
| اشباع<br>شده  | میانگین<br>گروه‌بندی | ۵/۷۰            | ۱۶/۱۵ | ۱۶/۳۲ | ۵/۹۲  | ۱۴/۴۸ | ۲۸/۸۸ | ۵۶/۵۸ | ۳۰/۲۴ |            |
|               |                      | $b$             | $b$   | $b$   | $b$   | $a$   | $a$   | $a$   |       |            |
| ۱۹۰ °C        | میانگین<br>گروه‌بندی | ۶/۰۲            | ۱۶/۴۷ | ۱۶/۸۰ | ۶/۱۳  | ۱۲/۱۹ | ۱۹/۰۱ | ۴۲/۴۰ | ۴۲/۳۷ |            |
|               |                      | $b$             | $b$   | $b$   | $b$   | $b$   | $b$   | $c$   |       |            |

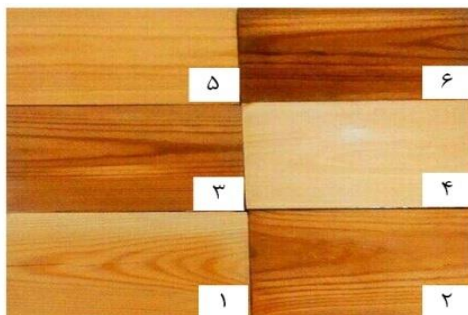
<sup>۱</sup> General Linear Model

جدول ۳. تحلیل واریانس اثر مستقل و متقابل عوامل متغیر بر شاخص‌های زبری سطح، رنگ‌سنجی و مقاومت برشی خط چسب

| آزمون              | منابع تغییرات     | درجه آزادی | مجموع مربعات | میانگین مربعات | F- value | P- value |
|--------------------|-------------------|------------|--------------|----------------|----------|----------|
| R <sub>d</sub>     | اشباع             | ۱          | ۱۴۱/۹۰۸      | ۱۴۱/۹۰۸        | ۴۵۱/۲۰   | /۰۰۰     |
|                    | دما               | ۲          | ۲۲/۳۴۶       | ۱۱/۱۷۳         | ۴۵/۵۲    | /۰۰۰     |
| R <sub>z</sub>     | اشباع × دما       | ۲          | ۱۱/۸۲۲       | ۵/۹۱۱          | ۱۸/۷۹    | /۰۰۰     |
|                    | اشباع             | ۱          | ۱۰۰/۱/۱۵     | ۱۰۰/۱/۱۵       | ۲۷۷/۸۳   | /۰۰۰     |
| R <sub>t</sub>     | دما               | ۲          | ۱۴۲/۹۲       | ۷۱/۴۶          | ۱۹/۸۳    | /۰۰۰     |
|                    | اشباع × دما       | ۲          | ۷۰/۵۰        | ۳۵/۲۵          | ۹/۷۸     | /۰۰۱     |
| R <sub>q</sub>     | اشباع             | ۱          | ۱۱۰/۱/۵      | ۱۱۰/۱/۵        | ۲۸۴/۲۴   | /۰۰۰     |
|                    | دما               | ۲          | ۱۸۲/۲        | ۹۱/۱۱          | ۲۳/۵۱    | /۰۰۰     |
| R <sub>q</sub>     | اشباع × دما       | ۲          | ۱۰۲/۸        | ۵۱/۴۲          | ۱۳/۲۷    | /۰۰۰     |
|                    | اشباع             | ۱          | ۱۱۷/۲۲۰      | ۱۱۷/۲۲۰        | ۱۲۱۶/۱۹  | /۰۰۰     |
| a*                 | دما               | ۲          | ۸/۵۴۱        | ۴/۲۷۰          | ۴۴/۳۱    | /۰۰۰     |
|                    | اشباع × دما       | ۲          | ۳/۰۹۱        | ۱/۵۴۵          | ۱۶/۰۳    | /۰۰۰     |
| b*                 | اشباع             | ۱          | -۰/۰۲۸       | -۰/۰۲۸         | -۰/۰۴    | /۰۰۰     |
|                    | دما               | ۲          | ۲۵۷/۸۴۱      | ۱۲۸/۹۲۰        | ۱۷۵/۹۳   | /۰۰۰     |
| L*                 | اشباع × دما       | ۲          | ۳۳/۳۳۰       | ۱۶/۶۶۵         | ۲۲/۷۴    | /۰۰۰     |
|                    | اشباع             | ۱          | -۰/۶۹۲       | -۰/۶۹۲         | -۰/۷۴    | /۰۰۰     |
| ΔE                 | دما               | ۲          | ۳۴۷/۰۳۳      | ۱۷۳/۵۱۶        | ۱۸۵/۳۷   | /۰۰۰     |
|                    | اشباع × دما       | ۲          | ۱۳۷/۴۷۱      | ۶۸/۷۳۵         | ۷۳/۴۳    | /۰۰۰     |
| ΔE                 | اشباع             | ۱          | ۱۰۰/۱۰/۵۰    | ۱۰۰/۱۰/۵۰      | ۲۶۲/۴۰   | /۰۰۰     |
|                    | دما               | ۲          | ۵۳۳۶/۴۸      | ۲۶۶۸/۲۴        | ۶۹۲/۸۶   | /۰۰۰     |
| مقاومت برشی خط چسب | اشباع × دما       | ۲          | ۹۸/۹۹        | ۴۹/۵۰          | ۱۲/۸۵    | /۰۰۰     |
|                    | اشباع             | ۱          | ۹۹۳/۳۰       | ۹۹۳/۳۰         | ۱۸۱/۵۳   | /۰۰۰     |
| مقاومت برشی خط چسب | دما               | ۲          | ۵۵۹۵/۱۵      | ۲۷۹۷/۵۷        | ۵۱۱/۲۶   | /۰۰۰     |
|                    | اشباع × دما       | ۲          | ۹۵/۵۶        | ۴۷/۷۸          | ۸/۷۳     | /۰۰۱     |
| مقاومت برشی خط چسب | اشباع             | ۱          | -۰/۳۶۱       | -۰/۳۶۰۷        | -۰/۳۶    | /۰۵۴۹    |
|                    | دما               | ۲          | ۶۷/۸۰۹       | ۳۳/۹۰۴۳        | ۳۴/۱۵    | /۰۰۱     |
| مقاومت برشی خط چسب | چسب               | ۱          | ۵/۷۵۲        | ۵/۷۵۱۸         | ۵/۷۹     | /۰۰۱۹    |
|                    | اشباع × دما       | ۲          | ۱۳/۵۴۲       | ۶/۷۷۰۹         | ۶/۸۲     | /۰۰۰۲    |
| مقاومت برشی خط چسب | دما × چسب         | ۲          | ۴/۲۰۸        | ۲/۱۰۴۰         | ۲/۱۲     | /۰۱۲۹    |
|                    | اشباع × چسب       | ۱          | ۷/۳۹۶        | ۷/۳۹۶۴         | ۷/۴۵     | /۰۰۰۸    |
| مقاومت برشی خط چسب | اشباع × دما × چسب | ۲          | ۲/۵۶۶        | ۱/۲۸۳۲         | ۱/۲۹     | /۰۲۸۲    |

همان‌طور که در جدول ۲ مشاهده می‌شود، بیشترین و کمترین شاخص روشنی، به ترتیب در نمونه‌های شاهد و نمونه‌های کندسوز و ترموود شده مشاهده شد. همان‌طور که در جدول ۳ مشخص شده است، نتایج تحلیل واریانس با سطح اعتماد ۹۵ درصد نشان داد اثر مستقل اشباع با بوراکس و اثر مستقل دمای تیمار حرارتی بر شاخص روشنی نمونه‌ها، معنی‌دار بود. اثر متقابل این عوامل بر شاخص روشنی نمونه‌ها نیز معنی‌دار بود و بنابراین، اثر اشباع با کندسوزکننده بوراکس بر روشنی نمونه‌ها وابسته به عامل تیمار حرارتی بود. نتایج گروه‌بندی توکی نیز مؤید این مسئله بود. مطابق با جدول ۲ نمونه‌های کندسوز و ترموود شده، بیشترین تغییر رنگ را نسبت به سایر تیمارها نشان دادند. نتایج تحلیل واریانس با سطح اعتماد ۹۵ درصد بیانگر اثر معنی‌دار اشباع با بوراکس بر تغییر رنگ نمونه‌ها بود؛ بدین معنی که بین نمونه‌های کندسوز نشده و کندسوز شده، اختلاف معنی‌داری ملاحظه شد. اثر مستقل دمای تیمار حرارتی بر تغییر رنگ نمونه‌ها، معنی‌دار بود؛ به طوری که بین نمونه‌های شاهد و نمونه‌های ترموود شده، اختلاف معنی‌دار، ملاحظه شد. اثر متقابل این عوامل بر تغییر رنگ نمونه‌ها معنی‌دار بود (جدول ۳). نتایج مربوط به مقایسه تیمارها با استفاده از گروه‌بندی توکی نیز مؤید این امر بود (جدول ۲). در شکل ۱ تصویر نمونه‌های چوبی به منظور مقایسه کیفی نشان داده شده است. شکل‌ها از شماره ۱ تا شماره ۶ به ترتیب مربوط به نمونه‌های کندسوز شده،

نمونه‌های ترموود شده در دمای  $190^{\circ}\text{C}$ ، نمونه‌های کندسوز و ترموود شده در دمای  $170^{\circ}\text{C}$ ، نمونه‌های شاهد، نمونه‌های ترموود شده در دمای  $170^{\circ}\text{C}$  و نمونه‌های کندسوز و ترموود شده در دمای  $190^{\circ}\text{C}$  است.



شکل ۱. تغییر رنگ نمونه‌ها

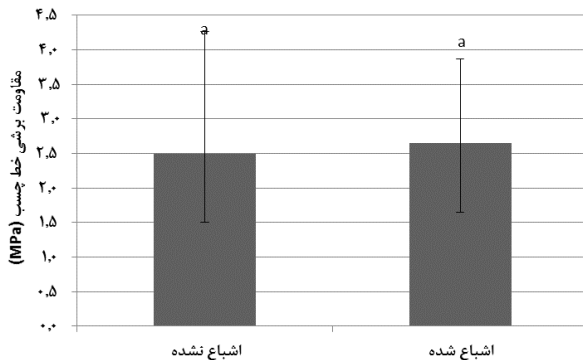
بر اساس نتایج مربوط به آزمون مقاومت برشی خط چسب، بیشترین و کمترین مقاومت برشی خط چسب به میزان  $4/87$  مگاپاسکال و  $0/78$  مگاپاسکال، به ترتیب در نمونه‌های شاهد ساخته شده با چسب پلی‌اورتان و نمونه‌های ترموود شده در دمای  $190^{\circ}\text{C}$  و ساخته شده با چسب پلی‌وینیل‌استات مشاهده شد (جدول ۴).

جدول ۴. میانگین مقادیر مقاومت برشی خط چسب

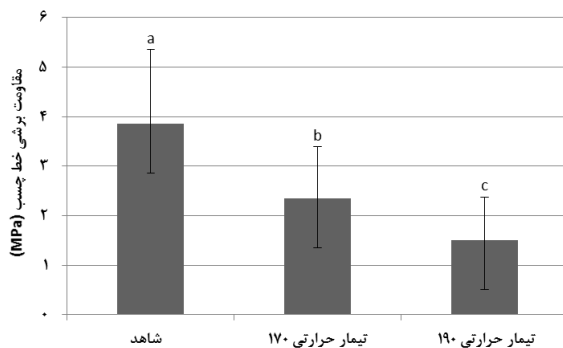
| اشباع      | تیمار حرارتی          | چسب             | مقادیر آماری | مقاومت برشی خط چسب |
|------------|-----------------------|-----------------|--------------|--------------------|
| شاهد       |                       | پلی اورتان      | میانگین      | $4/87$             |
|            |                       |                 | گروه‌بندی    | a                  |
| اشباع نشده | $170^{\circ}\text{C}$ | پلی وینیل استات | میانگین      | $3/75$             |
|            |                       |                 | گروه‌بندی    | ab                 |
| اشباع نشده | $170^{\circ}\text{C}$ | پلی اورتان      | میانگین      | $2/30$             |
|            |                       |                 | گروه‌بندی    | bc                 |
| اشباع نشده | $190^{\circ}\text{C}$ | پلی وینیل استات | میانگین      | $1/17$             |
|            |                       |                 | گروه‌بندی    | c                  |
| اشباع نشده | $190^{\circ}\text{C}$ | پلی اورتان      | میانگین      | $2/15$             |
|            |                       |                 | گروه‌بندی    | bc                 |
| اشباع نشده | $190^{\circ}\text{C}$ | پلی وینیل استات | میانگین      | $0/78$             |
|            |                       |                 | گروه‌بندی    | c                  |
| شاهد       |                       | پلی اورتان      | میانگین      | $3/27$             |
|            |                       |                 | گروه‌بندی    | ab                 |
| اشباع شده  | $170^{\circ}\text{C}$ | پلی وینیل استات | میانگین      | $3/54$             |
|            |                       |                 | گروه‌بندی    | ab                 |
| اشباع شده  | $170^{\circ}\text{C}$ | پلی اورتان      | میانگین      | $2/45$             |
|            |                       |                 | گروه‌بندی    | bc                 |
| اشباع شده  | $190^{\circ}\text{C}$ | پلی وینیل استات | میانگین      | $3/47$             |
|            |                       |                 | گروه‌بندی    | ab                 |
| اشباع شده  | $190^{\circ}\text{C}$ | پلی اورتان      | میانگین      | $2/10$             |
|            |                       |                 | گروه‌بندی    | bc                 |
| اشباع شده  | $190^{\circ}\text{C}$ | پلی وینیل استات | میانگین      | $1/04$             |
|            |                       |                 | گروه‌بندی    | c                  |



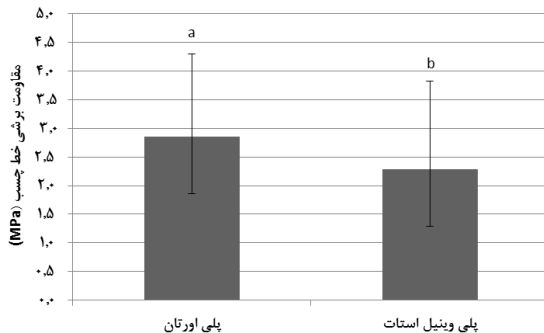
همان‌طور که در جدول ۳ مشاهده می‌شود، نتایج تحلیل واریانس نشان داد با سطح اعتماد ۰/۰۵، اثر مستقل اشباع با بوراکس بر مقاومت برشی خط چسب معنی‌دار نبود و نتایج گروه‌بندی توکی نیز موید این امر بود (شکل ۲). اثر مستقل دمای تیمار حرارتی معنی‌دار بود؛ به طوری که با افزایش دما، مقاومت برشی خط چسب کاهش قابل توجهی یافت و مطابق با گروه‌بندی توکی، تیمارها در گروه‌های جداگانه قرار گرفت (شکل ۳). اثر مستقل نوع چسب بر مقاومت برشی خط چسب معنی‌دار بود و در گروه‌بندی توکی نیز، تیمارها در گروه‌های مختلف آماری قرار گرفت (شکل ۴).



شکل ۲. اثر مستقل اشباع با بوراکس بر مقاومت برشی خط چسب



شکل ۳. اثر مستقل دمای تیمار حرارتی بر مقاومت برشی خط چسب.



شکل ۴. اثر مستقل نوع چسب بر مقاومت برشی خط چسب

## بحث

بر طبق نتایج حاصل از این پژوهش، تیمار حرارتی موجب کاهش زبری سطح نمونه‌های چوبی گردید. از سویی دیگر، استفاده از کندسوزکننده بوراکس موجب افزایش زبری سطح نمونه‌ها شد. کاهش زبری سطح نمونه‌های چوبی پس از تیمار حرارتی، در اثر تخریب ساختار دیواره سلولی می‌باشد [۱۰]. یافته‌های گورلین و همکاران (۲۰۱۷) نیز با نتایج پژوهش حاضر مطابقت داشت [۱۶]. همان‌طور که اوزدمیر و همکاران (۲۰۱۵) بیان کردند اشباع با مواد حفاظتی آب‌پایه، سبب افزایش زبری سطح چوب می‌شود [۱۲]. آیدین (۲۰۰۹) اعلام کرد، پس از اشباع نمونه‌های چوبی با اسید بوریک، زبری سطح در اثر تشکیل بلورهای اسید بوریک روی سطح چوب، افزایش می‌یابد [۲۶]. تحقیقات توگای و همکاران (۲۰۰۹) نشان داد که در اثر اشباع چوب با مواد حفاظتی بوراکس، بوریک اسید و مونوآمونیم فسفات، زبری سطح چوب به علت حجیم شدن دیواره سلولی و افزایش زبری الیاف چوب، افزایش می‌یابد [۲۷]. بر طبق یافته‌های حاصل از پژوهش حاضر، تیمار حرارتی موجب افزایش تغییر رنگ نمونه‌ها گردید و در نمونه‌های کندسوز و ترموود شده بیشترین تغییر رنگ مشاهده شد. تغییر رنگ چوب از تغییر عناصر سازنده چوب و تخریب همی‌سلولزها، لیگنین و مواد استخراجی نشأت می‌گیرد [۲۸]. با تیمار حرارتی، روشنی نمونه‌ها کاهش و قرمزی افزایش می‌یابد [۱۶]. رنگ تیره ترموودها به تشکیل فرآورده‌های رنگی ناشی از تخریب حرارتی همی‌سلولزها نسبت داده می‌شود [۱۷]. بویکر و هزیروغلو (۲۰۱۷) اظهار داشتند روشنی نمونه‌ها با افزایش دمای تیمار حرارتی و افزایش مدت آن، کاهش می‌یابد [۲۳]. با افزایش دما، تخریب و اکسیداسیون گروه‌های هیدروکسیل آروماتیک لیگنین، سبب تغییر رنگ می‌شود [۲۹]. یافته‌های حاصل از این پژوهش با نتایج به دست آمده از تحقیقات بختا و نیمز (۲۰۰۳) مبنی بر افزایش تغییر رنگ نمونه‌ها با افزایش دما مطابقت داشت [۳۰]. نتایج حاصل از بررسی مقاومت برشی خط چسب نمونه‌ها حاکی از کاهش این ویژگی در نمونه‌های ترموود شده بود. طبق اظهارات کورکوت و همکاران (۲۰۰۸) تیمار حرارتی علیرغم برخی امتیازاتی که دارد، خواص مکانیکی چوب را تحت تاثیر قرار می‌دهد [۳۱]. تیمارهای حرارتی سبب تخریب بسیار زیاد همی‌سلولز چوب می‌شود [۳۲]. هرچه میزان همی‌سلولز کاهش یابد، مقاومت چوب نیز کاهش می‌یابد [۳۳]. تیمار حرارتی سطح را غیرفعال کرده و سبب اختلال در مقاومت اتصال می‌شود. بدیهی است که سطوح نرم‌تر، برهم‌کنش کمتری با هم خواهد داشت و به مقاومت برشی خط چسب ضعیف‌تر منجر می‌شود [۲۳]. انرژی سطحی چوب از عوامل موثر بر ترشوندگی سطح است و کاهش آن، کاهش ترشوندگی سطح را در پی دارد [۳۴]. انرژی سطحی اجزای قطبی به طور قابل توجهی بالاتر از مولفه‌های غیرقطبی است [۳۵]. در اثر تیمار حرارتی، قطبیت سطح چوب کم شده و از این طریق، ترشوندگی کاهش می‌یابد. فولریش و همکاران (۲۰۰۶) بیان کردند در اثر تیمار حرارتی، نرم شدن لیگنین و نوآرایی عناصر پلیمری چوب، سبب افزایش آب‌گریزی چوب شده و ترشوندگی آن کاهش می‌یابد؛ بنابراین تیمار حرارتی بر عملکرد اتصال چسب‌ها اثر منفی می‌گذارد [۳۶]. بر طبق نتایج این پژوهش، مقاومت برشی خط چسب پلی‌اورتان بیشتر از پلی‌وینیل استات بود. اتصال چسب پلی‌وینیل استات به چوب وابسته به گروه‌های شیمیایی بستر چوب می‌باشد و در اثر تیمار حرارتی و تخریب این گروه‌ها، در سازوکار این چسب اختلال ایجاد می‌شود. نم‌پذیری اندک ترموودها، بر انعقاد چسب‌های آب‌پایه اثرگذار است [۳۷]. طبق مطالعات فریزر (۲۰۰۳) چسب پلی‌وینیل استات نفوذ اندکی در چوب داشته و بنابراین مقاومت اتصال کمتری دارد. گیرایی این چسب بر اساس پراکندگی پلی‌وینیل استات در آب و تبخیر حلال صورت گرفته و سپس پلی‌وینیل استات در بستر چوب جذب سطحی می‌شود [۳۸]. در دیواره سلولی چوب اتصال داده شده با پلی‌وینیل استات، اتصال و برهم‌کنش اندکی بین چوب و چسب مشاهده شده است. چسب پلی‌اورتان با تبخیر سطحی حلال خشک می‌شود و پیوند عرضی با سلول‌های چوبی برقرار می‌کنند و از این روی بین چوب و پلی‌اورتان، برهم‌کنش و اتصال زیادی وجود دارد [۳۹]. نتایج پژوهش حاضر حاکی از آن بود که مقاومت برشی خط چسب در نمونه‌های کندسوز شده کمتر

از نمونه‌های شاهد بود. طبق اظهارات سیمسک و بایسال (۲۰۱۵) هنگامی که چوب با مواد حفاظتی یا کندسوزکننده تیمار شود، مقاومت آن تحت تاثیر قرار می‌گیرد؛ چراکه بسیاری از اکسیدهای فلزی که در فرمول مواد حفاظتی آب‌پایه به کار می‌روند، با دیواره سلول واکنش می‌دهند. این فرآیند، عناصر سازنده دیواره سلولی را اکسید می‌کند و ممکن است مقاومت چوب را کاهش دهد. تیمارهای حفاظتی آب‌پایه، عموماً خواص مکانیکی چوب را کاهش می‌دهد؛ زیرا تیمارهای حفاظتی آب‌پایه با دیواره سلول چوب واکنش فیزیکی می‌دهد [۲]. همچنین فریهارت (۲۰۰۳) بیان کرد غالباً هنگامی که چوب با مواد شیمیایی همچون مواد حفاظتی و کندسوزکننده تیمار می‌شود، اتصال آن مشکل می‌شود [۴۰]. مقاومت برشی خط چسب در نمونه‌های کندسوز شده بیشتر از نمونه کندسوز و ترموود شده بود؛ زیرا تخریب حرارتی صورت گرفته در ترموودها موجب کاهش مقاومت گردید. نمونه‌های کندسوز و ترموود شده در مقایسه با نمونه‌های ترموود شده، مقاومت برشی خط چسب بیشتری نشان داد؛ زیرا کندسوزکننده بوراکس بر افت مقاومت ناشی از تیمار حرارتی اثر کاهنده داشت. در این راستا مطالعات ویناندی (۱۹۹۷) نیز حاکی از آن بود که افزودن بافرهای بر پایه بور، تخریب حرارتی متعاقب چوب را کاهش می‌دهد [۴۱].

### نتیجه‌گیری

در پژوهش حاضر زبری سطح، تغییر رنگ و مقاومت برشی خط چسب‌های پلی اورتان و پلی وینیل استات در چوب کاج جنگلی کندسوز و ترموود شده مطالعه شد. نتایج نشان داد تیمارهای حرارتی سبب کاهش زبری سطح چوب شد و اشباع نمونه‌های چوبی با کندسوزکننده بوراکس، زبری سطح را افزایش داد. علاوه بر آن در اثر تیمار حرارتی روشنی نمونه‌ها کاهش یافت و بیشترین تغییر رنگ در نمونه‌های کندسوز و ترموود شده مشاهده شد. نتایج همچنین نشان داد مقاومت اتصال چسب در ترموودها و در نمونه‌های کندسوز شده در مقایسه با نمونه‌های شاهد کاهش یافت. بیشترین مقاومت برشی خط چسب در نمونه‌های شاهد ساخته شده با چسب پلی اورتان و کمترین مقاومت برشی خط چسب در ترموودهای ساخته شده با چسب پلی وینیل استات مشاهده شد. از آنجایی که گیرایی چسب پلی وینیل استات وابسته به آب و گروه‌های بستر چوب می‌باشد، در اثر تیمار حرارتی و تخریب حرارتی گروه‌های عاملی چوب، مقاومت اتصال این چسب‌ها کاهش یافت. در این خصوص انتخاب چسب پلی اورتان با توجه به عملکرد بهتر آن در سازه‌ها ارجح است.

### References

- [1] Kilic, M., Hiziroglu, S., & Burdurlu, E. (2006). Effect of machining on surface roughness of wood. *Building and Environment*, 41(8), 1074-1078. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2005.05.008>
- [2] Simsek, H., & Baysal, E. (2015). Some Physical and Mechanical Properties of Borate-Treated Oriental Beech Wood. *Drvna Industrija*, 66(2), 97-103. <https://doi.org/10.5552/drind.2015.1356>
- [3] Sandak, J., & Negri, M. (2005). *Wood surface roughness—what is it* Proceedings of the 17th International Wood Machining Seminar (IWMS 17).
- [4] Čekovská, H., Gaff, M., Osvald, A., Kačík, F., Kubs, J., & Kaplan, L. (2017). Fire Resistance of Thermally Modified Spruce Wood. *BioResources*, 12(1), 947-959. <https://doi.org/10.15376/biores.12.1.947-959>
- [5] Salman, S., Pétrissans, A., Thévenon, M. F., Dumarçay, S., Perrin, D., Pollier, B., & Gérardin, P. (2014). Development of new wood treatments combining boron impregnation and thermo modification: effect of additives on boron leachability.

- European Journal of Wood and Wood Products*, 72(3), 355-365. <https://www.springerprofessional.de/en/development-of-new-wood-treatments-combining-boron-impregnation-/5063782>
- [6] Stark, N. M., White, R. H., Mueller, S. A., & Osswald, T. A. (2010). Evaluation of various fire retardants for use in wood flour-polyethylene composites. *Polymer Degradation and Stability*, 95(9), 1903-1910. <https://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2010.04.014>
- [7] Kartal, S. N., Hwang, W.-J., & Imamura, Y. (2007). Water absorption of boron-treated and heat-modified wood. *Journal of Wood Science*, 53(5), 454-457. <https://doi.org/10.1007/s10086-007-0877-9>
- [8] Gurau, L., Irle, M., & Buchner, J. (2019). Surface roughness of heat treated and untreated beech (*Fagus sylvatica* L.) wood after sanding. *BioResources*, 14(2), 4512-4531. <https://doi.org/10.15376/biores.14.2.4512-4531>
- [9] Karlinasari, L., Lestari, A. T., & Priadi, T. (2018). Evaluation of surface roughness and wettability of heat-treated, fast-growing tropical wood species sengon (*Paraserianthes falcata* (L.) I.C.Nielsen), jabon (*Anthocephalus cadamba* (Roxb.) Miq), and acacia (*Acacia mangium* Willd.). *International Wood Products Journal*, 9(3), 142-148. <https://doi.org/10.1080/20426445.2018.1516918>
- [10] Salca, E.-A., & Hiziroglu, S. (2014). Evaluation of hardness and surface quality of different wood species as function of heat treatment. *Materials & Design (1980-2015)*, 62, 416-423. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2014.05.029>
- [11] Aydin, I., & Colakoglu, G. (2005). Effects of surface inactivation, high temperature drying and preservative treatment on surface roughness and colour of alder and beech wood. *Applied Surface Science - APPL SURF SCI*, 252(2), 430-440. <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2005.01.022>
- [12] Ozdemir, T., Temiz, A., & Aydin, I. (2015). Effect of Wood Preservatives on Surface Properties of Coated Wood. *Advances in Materials Science and Engineering*, 2015(9), 631835-631840. <https://doi.org/10.1155/2015/631835>
- [13] Ghofrani, M., & fazeli, A. (2019). The effect of lignocellulosic material and resin content on physical and mechanical properties of particleboard. *Karafan Quarterly Scientific Journal*, 16(45), 195-210. [https://karafan.tvu.ac.ir/article\\_100539.html?lang=en](https://karafan.tvu.ac.ir/article_100539.html?lang=en)
- [14] Falkehag, S. I., Marton, J., & Alder, E. (1966, January 1). Chromophores in kraft lignin. In *Lignin structure and reactions* (Vol. 59, pp. 75-89). ACS Publications. <https://doi.org/10.1021/ba-1966-0059.ch007>
- [15] Johansson, C., Saddler, J., & Beatson, R. (2000). Characterization of the Polyphenolics Related to the Colour of Western Red Cedar (*Thuja plicata* Donn) Heartwood. *Holzforschung*, 54(3), 246-254. <https://doi.org/10.1515/HF.2000.042>
- [16] Gurleyen, L., Ayata, U., Esteves, B., & Cakicier, N. (2017). Effects of heat treatment on the adhesion strength, pendulum hardness, surface roughness, color and glossiness of Scots pine laminated parquet with two different types of UV varnish application. *Maderas. Ciencia y tecnología*, 19(2), 213-224. <https://doi.org/10.4067/S0718-221X2017005000019>
- [17] Sundqvist, B. (2004). *Colour changes and acid formation in wood during heating* [PhD Dissertation, Lulea University of Technology]. Skelleftea, Sweden.
- [18] Van Nguyen, T. H., Nguyen, T. T., Ji, X., & Guo, M. (2018). Predicting color change in wood during heat treatment using an artificial neural network model. *BioResources*, 13(3), 6250-6264. <https://doi.org/10.15376/biores.13.3.6250-6264>

- [19] Sikora, A., Kačík, F., Gaff, M., Vondrová, V., Bubeníková, T., & Kubovský, I. (2018). Impact of thermal modification on color and chemical changes of spruce and oak wood. *Journal of Wood Science*, 64(4), 406-416. <https://doi.org/10.1007/s10086-018-1721-0>
- [20] Sahin Kol, H., Aysal, S., Gündüz Vaydoğan, K., & Çıtak, O. (2017, October). *Investigation of some physical and mechanical properties of heat treated Beech wood impregnated with boric acid and borax in different treatment temperatures* Investigation of some physical and mechanical properties of heat treated Beech wood impregnated with boric acid and borax in different treatment temperatures, Barcelona, Spain. <https://atif.sobiad.com/index.jsp?modul=makale-detay&Alan=fen&Id=AW4SDfkPyZgeuuwfeCdV>
- [21] Paul, W., Ohlmeyer, M., & Leithoff, H. (2007). Thermal modification of OSB-strands by a one-step heat pre-treatment - Influence of temperature on weight loss, hygroscopicity and improved fungal resistance. *Holz als Roh- und Werkstoff*, 65(1), 57-63. <https://doi.org/10.1007/s00107-006-0146-4>
- [22] Sernek, M., Boonstra, M., Pizzi, A., Despres, A., & Gérardin, P. (2008). Bonding performance of heat treated wood with structural adhesives. *Holz als Roh- und werkstoff*, 66(3), 173-180. <https://doi.org/10.1007/s00107-007-0218-0>
- [23] Ulker, O., & Hiziroglu, S. (2017). Some Properties of Densified Eastern Redcedar as Function of Heat and Pressure. *Materials*, 10(11), 1275. <https://doi.org/10.3390/ma10111275>
- [24] Auty, D. (2011). *Modelling the effects of forest management on the wood properties and branch characteristics of UK-grown Scots pine* [PhD Dissertation, Aberdeen University]. Scotland, UK.
- [25] TSE. (1996, November 25 ). TSE - TS 2471 - Wood, Determination of Moisture Content for Physical and Mechanical Tests. In: GlobalSpec Engineering 360.
- [26] Aydin, I. (2010). Effects of borate treatments on the properties of spruce veneers and plywood panels. In *Handbook on Borates: Chemistry, Production and Application* (pp. 349-366). Nova Science Publishers.
- [27] Togay, A., Kilic, Y., & Colakoglu, G. (2009). Effects of Impregnation with Timbercare Aqua to Surface Roughness of Some Varnishes. *Journal of Applied Sciences*, 9(9). <https://doi.org/10.3923/jas.2009.1719.1725>
- [28] Tribulova, T., Kačík, F., Evtuguin, D., & Cabalova, I. (2016). Assesment of chromophores in chemically treated and aged wood by UV- Vis diffuse reflectance spectroscopy. *Cellulose Chemistry and Technology*, 50(5-6), 659-667. [https://cellulosechemtechnol.ro/pdf/CCT5-6\(2016\)/p.659-667.pdf](https://cellulosechemtechnol.ro/pdf/CCT5-6(2016)/p.659-667.pdf)
- [29] Yao, C., Yongming, F., Jianmin, G., & Houkun, L. (2012). Coloring characteristics of in situ lignin during heat treatment. *Wood Science and Technology*, 46(1), 33-40. <https://doi.org/10.1007/s00226-010-0388-5>
- [30] Bekhta, P., & Niemz, P. (2003). Effect of High Temperature on the Change in Color, Dimensional Stability and Mechanical Properties of Spruce Wood. *Holzforschung*, 57(5), 539-546. <https://doi.org/10.1515/HF.2003.080>
- [31] Korkut, S., Akgül, M., & Dünder, T. (2008). The effects of heat treatment on some technological properties of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) wood. *Bioresource Technology*, 99(6), 1861-1868. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2007.03.038>
- [32] Weiland, J., Guyonnet, R., & Gibert, R. (1998). Analysis of controlled wood burning by combination of thermogravimetric analysis, differential scanning calorimetry and

- Fourier transform infrared spectroscopy. *Journal of thermal analysis and calorimetry*, 51(1), 265-274.
- [33] Kartal, S. N., Hwang, W.-J., & Imamura, Y. (2008). Combined effect of boron compounds and heat treatments on wood properties: Chemical and strength properties of wood. *Journal of Materials Processing Technology*, 198(1-3), 234-240. <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2007.07.001>
- [34] Letibari, A. J. (2007). *Science and technology of adhesion of lignocellulosic materials*. Islamic Azad University (Karaj). <http://fipak.areeo.ac.ir/site/catalogue/18478466>
- [35] Kúdela, J & ,Liptáková, E. (2006). Adhesion of coating materials to wood. *Journal of Adhesion Science and Technology*, 20(8), 875-895. <https://doi.org/10.1163/156856106777638725>
- [36] Follrich, J., Müller, U., & Gindl, W. (2006). Effects of thermal modification on the adhesion between spruce wood (*Picea abies* Karst.) and a thermoplastic polymer. *Holz als Roh- und Werkstoff*, 64(5), 373-376. <https://doi.org/10.1007/s00107-006-0107-y>
- [37] Boonstra, M. J., Tjeerdsma, B. F., & Groeneveld, H. A. C. (1998). *Thermal Modification Of Non-durable Wood Species. 1. The Plato Technology: Thermal Modification Of Wood*. IRG Secretariat. <https://books.google.com/books?id=sonTzQEACAAJ>
- [38] Frazier, C. (2003). Isocyanate Wood Binders. In *Handbook of adhesive technology* (2nd ed.). Taylor & Francis. <https://doi.org/10.1201/9780203912225.ch33>
- [39] Sandlund, A. B. (2004, October). *A study of wood adhesion and interactions using DMTA. Doctoral thesis. Divisions of Wood Material Science* [Doctoral Thesis, Division of Wood and Material Science, Lulea University of Technology]. Skelleftea, Sweeden. <https://www.traguiden.se/globalassets/forskning/doktorsavhandlingar/ltu-dt-0449-se.pdf>
- [40] Frihart, C. R. (2003). *Interaction of copper wood preservatives and adhesives* 26th Annual Meeting of the Adhesion Society, Inc. : Adhesion. <https://www.fs.usda.gov/treesearch/pubs/22137>
- [41] Winandy, J. E. (1997). Effects of fire retardant retention, borate buffers, and redrying temperature after treatment on thermal-induced degradation. *Forest Products Journal*, 47(6), 79-86. <https://www.fpl.fs.fed.us/documnts/pdf1997/winan97a.pdf>