مقاله پژوهشی

نشریه علمی تحقیقات علوم چوب و کاغذ ایران
جلد ۳۸ شماره ۱، صفحه ۸۶-۷۵ (۱۴۰۲)

شناسه دیجیتال (DOI): 10.22092/IJWPR.2022.354896.1686
شناسه دیجیتال (DOR): 20.1001.1.17350913.1402.38.1.6.8

# اثر آب‌گرمایی و اشباع با اسید بوریک بر برخی ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی و مقاومت به آتش چوب صنوبر (*Populus nigra*) و کاج رادیاتا (*Pinus radiata*)

رضا جزایری[1*]، رضا حاجی‌حسنی [2] و صدیقه نظری [3]

۱* - نویسنده مسئول، محقق بخش تحقیقات علوم چوب و فراورده‌های آن، مؤسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران، پست‌الکترونیک: rjazayeri7@gmail.com

۲- استادیار پژوهش، بخش تحقیقات علوم چوب و فراورده‌های آن، مؤسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

۳- کارشناس پژوهشی، بخش تحقیقات علوم چوب و فراورده‌های آن، مؤسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

تاریخ دریافت: آبان ۱۴۰۰ تاریخ پذیرش: مرداد ۱۴۰۱

## چکیده

هدف اصلی این مطالعه، ارزیابی اثر تیمار آب‌گرمایی به همراه اسیدبوریک بر برخی ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی و مقاومت به آتش چوب دو گونه صنوبر (*Populus nigra*) و کاج رادیاتا (*Pinus radiata*) بود. در این مطالعه برای تیمار آب‌گرمایی از دو زمان ۶۰ و ۹۰ دقیقه با دو درجه حرارت ۱۵۰°C و ۱۸۰°C و برای تیمار اشباع از اسید بوریک با غلظت‌های ۱، ۳ و ۵ درصد محلول در آب استفاده گردید. اندازه‌گیری ویژگی‌های مورد بررسی شامل مقاومت خمشی، مقاومت به ضربه، واکشیدگی ضخامت و مقاومت به آتش (کاهش وزن بر اثر آتش) بود و به‌ترتیب توسط استانداردهای ASTM-D143، ASTM-D256، ASTM 4446-2002 و ISO 11925 انجام شد. در مورد مقاومت به آتش تیمار ۵ درصد اسید بوریک کمترین کاهش وزن را بر اثر سوختگی در چوب دو گونه نشان داد. این در حالی بود که بر اثر تیمار آب‌گرمایی به‌تنهایی مقاومت به آتش حتی کمتر از شاهد گردید. دراین‌ارتباط تلفیق تیمار آب‌گرمایی با تیمار اسید بوریک باعث نتایج نزدیک با تیمار اشباع با اسید بوریک شد. در مورد تأثیر مثبت تیمار آب‌گرمایی بر بهبود ثبات ابعادی که از نتایج این مطالعه به شمار می‌رود، دمای ۱۸۰°C با زمان ۹۰ دقیقه واکشیدگی ۲۴ ساعت چوب دو گونه صنوبر و کاج رادیاتا را به ترتیب حدود ۳۶/۸ و ۴۲ درصد کاهش داد. در رابطه با مقاومت به ضربه اثر تیمار آب‌گرمایی بر چوب هر دو گونه و تأثیر تیمار اسیدبوریک بر چوب کاج رادیاتا منفی بود. تیمار ۱۸۰°C با زمان ۹۰ دقیقه باعث کاهش مقاومت به ضربه در حدود ۲۸/۲ درصد در چوب هر دو گونه شد و تیمار ۵ درصد اسید بوریک کاهش ۱۳/۳ درصد این وِیژگی را در چوب کاج رادیاتا سبب شد.

واژه‌های کلیدی: تیمار حرارتی؛ اسید بوریک؛ واکشیدگی ضخامت؛ مقاومت به ضربه؛ مقاومت به آتش

## مقدمه

مصرف فزاینده چوب از یکسو و محدودیت منابع از سوی دیگر، لزوم بهره‌مندی از گونه‌های تندرشد چوبی و همچنین اصلاح چوب را بیشتر کرده است. تاکنون از مواد حفاظتی کرئوزوت، PCP و CCA برای حفاظت و اصلاح چوب استفاده شده است (Parsapajoh et al., 2004). این مواد سمی بوده و به‌سرعت دچار آبشویی می‌شوند که نتیجه آن آلودگی‌های محیط‌زیستی است، ازاین‌رو امروزه استفاده از مواد و سازوکارهای غیر سمی در حال جایگزینی است (Hill, 2006). در دهه‌های اخیر توجه گسترده به مسائل زیستی سبب کاهش استفاده از ترکیبات شیمیایی شده که برای سلامتی انسان‌ها و محیط‌زیست مضر است، به‌طوری‌که مواد و روش‌های دوست‌دار

محیط‌زیست به‌تدریج در حال جایگزینی است (Kocaefe et., 2007). اصلاح چوب با تیمار حرارتی یکی از این روش‌ها محسوب می‌گردد که از حرارت ۱۸۰ تا ۲۶۰ درجه سانتی‌گراد بدین منظور استفاده می‌شود. تخریب همی‌سلولز که یک بخش مهم آب‌دوست در چوب است از دمای ۱۰۰ درجه شروع می‌گردد (Hill, 2006). Persin و همکاران (۲۰۱۵) بیان کردند که مقاومت به خمش چوب بلوط با افزایش درجه از ۱۶۰ تا ۲۲۰ درجه سانتی‌گراد به‌شدت کاهش می‌یابد. Dastoorian و همکاران (۲۰۱۸) اثر اصلاح گرمایی بر ساختار شیمیایی و خواص فیزیکی چوب راش ایران و افرا پلت را مطالعه کردند. نتایج طیف‌سنجی زیر قرمز نشان داد که اصلاح گرمایی موجب کاهش گروه‌های هیدروکسیل گردید و این اثر با افزایش دما تا ۱۷۵ درجه سانتی‌گراد محسوس‌تر شد. Song و همکاران (۲۰۲۰)، پس از تیمار حرارتی چوب را با کربن به‌منظور افزایش مقاومت به آتش اشباع کردند. نتایج نشان داد که تیمار تلفیقی دو فرایند موصوف (اشباع پس از هیدروترمال) باعث کاهش آزاد شدن گرما تا ۳۲٪، کاهش شعله ۳۱٪، کاهش متوسط عملکرد دی‌اکسیدکربن ۱۲٪ و کاهش کل افت جرم ۱۰٪ می‌شود. علت کاهش سرعت واکنش پیرولیز بود. Fidan و Adanur (۲۰۱۹)، بیان کردند که اشباع چوب با اسید بوریک سبب قرارگرفتن اسید بوریک میان میکروفیریل‌های دیواره سلولی و تأثیر بر ساختار کریستالی می‌شود.

در این مطالعه هدف ارزیابی اثر توأمان تیمار آب‌گرمایی و محلول اسیدبوریک روی مقاومت به آتش، ثبات ابعادی و ویژگی‌های مکانیکی چوب صنوبر و کاج رادیاتا بود.

## مواد و روش‌ها

چوب گونه‌های صنوبر و کاج رادیاتا از ایستگاه چمستان واقع در شهرستان نور، تهیه شد. بدین منظور سه پایه از هر گونه انتخاب و از سه منطقه ارتفاعی آن دیسک‌های مورد نظر تهیه شدند. دیسک‌ها به آزمایشگاه حفاظت و اصلاح چوب مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور منتقل گردیدند. مرحله مشروط‌سازی اولیه با نگهداری چوب تا رسیدن به رطوبت تعادل محیط دنبال شد. این دیسک‌ها سپس به نمونه‌های با ابعاد لازم برای هر آزمون مطابق با استاندارد مربوط تبدیل شدند. اشباع نمونه‌ها با اسید بوریک (برای تیمار مستقل اسید بوریک و تیمار تلفیقی حرارت–اسیدبوریک) در سطوح با غلظت ۱، ۳ و ۵ درصد (محلول در آب) طبق روش بتل (سلول پر) انجام شد. بدین منظور، ابتدا نمونه‌ها درون سیلندر اشباع قرار داده شدند. سپس تحت خلأ مقدماتی برابر ۰/۷ بار به مدت ۱۵ دقیقه قرار گرفتند. پس از ارسال محلول اشباع با حفظ خلأ مقدماتی، اعمال فشار ثابت به میزان ۸ بار و به‌مدت ۲ ساعت انجام شد. در مرحله بعد مازاد محلول حفاظتی از طریق زهکشی خارج گردید. درنهایت پس از اعمال خلأ نهایی برابر ۰/۷ بار به مدت ۵ دقیقه نمونه‌ها از سیلندر اشباع خارج گردیدند. برای تیمار آب‌گرمایی و تیمار تلفیقی حرارت–اسیدبوریک، دو سطح دمایی ۱۵۰ و ۱۸۰ درجه سانتی‌گراد و دو سطح زمانی ۶۰ و ۹۰ دقیقه انتخاب شدند. جدول ۱ تیمارهای مورد بحث را به‌صورت خلاصه نشان می‌دهد و از علائم اختصاری مربوطه در نمودارهای بخش نتایج استفاده شده است.

**جدول ۱– تیمارهای مورد استفاده برای اصلاح چوب**

**Table 1- The treatments used for wood modification**

| گونه چوبی | | درجه حرارت (درجه سانتی‌گراد) – زمان حرارت‌دهی (دقیقه) | | | | سطح مصرف (درصد وزن خشک رزین) | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Wood spicies** | | **Temperature Degree (°C) - Heating Time (minutes)** | | | | **Dosage (Percentage soluble boric acid in water)** | | |
| Pine | Poplar | 180-90 | 180-60 | 150-90 | 150-60 | 5 | 3 | 1 |
| $S_2$ | $S_1$ | $T_4$ | $T_3$ | $T_2$ | $T_1$ | $I_3$ | $I_2$ | $I_1$ |

پس از تیمار نمونه‌های چوبی، آزمون‌ها مطابق آئین‌نامه‌های مربوطه انجام شد. استاندارد ISO 11925 برای آزمون مقاومت به آتش، استاندارد ASTM ۴۴۴۶-۲۰۰۲ برای ویژگی فیزیکی (هم‌کشیدگی حجمی)، استاندارد ASTM-D143 برای مقاومت به خمش و استاندارد ASTM-D256 برای مقاومت به ضربه، آئین‌نامه‌های مرجع بودند. هم کشیدگی حجمی طبق رابطه ۱ اندازه‌گیری شد. برای محاسبه مقاومت به خمش از رابطه ۲ استفاده شد. برای محاسبه مقاومت به ضربه داده‌های حاصل از آزمون که بر اساس N.m اندازه‌گیری شده بود به Kg.m تبدیل شدند. برای تعیین مقاومت به آتش، نمونه‌ها پس از رسیدن به تعادل رطوبتی با محیط و توزین، به فاصله ۳۰ میلی‌متر از لبه پایین و ۵ میلی‌متر با زاویه ۴۵ درجه نسبت به دهانه نازل آتش استقرار یافتند. در این مورد فشار خروجی گاز ثابت و مدت آزمون ۱۲۰ ثانیه بود. پس از پایان این مرحله از آزمایش و پاک‌کردن سطح نمونه‌ها، توزین آنها انجام و درصد کاهش وزن مطابق رابطه ۳ تعیین شد.

رابطه ۱: $SW = \frac{(V - Vo)}{Vo} * 100 =$ (حجم نقطه اشباع الیاف − حجم خشک / حجم خشک) × ۱۰۰

رابطه ۲: $MOR = \frac{3FmaxL}{2bd2}$

$F_{max}$ حداکثر بار و b,d،L به ترتیب ابعاد طول، عرض و ضخامت

رابطه ۳: $\frac{(W - Wo)}{Wo} * 100$ = (وزن نمونه اولیه − وزن نمونه پس از در معرض آتش / وزن نمونه اولیه) × ۱۰۰

**جدول ۲- مقادیر p حاصل از تجزیه واریانس**

**Table 1- p values from analysis of variance**

| ویژگی **Property** | تیمار **Treatment** | | | |
|---|---|---|---|---|
| | گونه **Spicies** | اسید بوریک **Boric Acid** | درجه حرارت **Temparature Degree** | زمان حرارت‌دهی **Heating Time** |
| مقاومت به خمش Bendng Resistance (MOR) | 0.936 ns | 0.692 ns | 0.056 ns | 0.203 ns |
| مقاومت به ضربه Impact Resistance | 0.000 * | 0.000 * | 0.007 * | 0.988 ns |
| واکشیدگی ۲ ساعت Swelling 2 Hours | 0.263 ns | 0.674 ns | 0.662 ns | 0.686 ns |
| واکشیدگی ۲۴ ساعت Swelling 24 Hours | 0.278 ns | 0.211 ns | 0.037 * | 0.907 ns |
| مقاومت به آتش Fire Resistance | 0.550 ns | 0.005 * | 0.08 ns | 0.912 ns |

*: معنی‌داری در سطح اعتماد آماري بیش از ۹۵ درصد - ns: عدم معنی‌داری

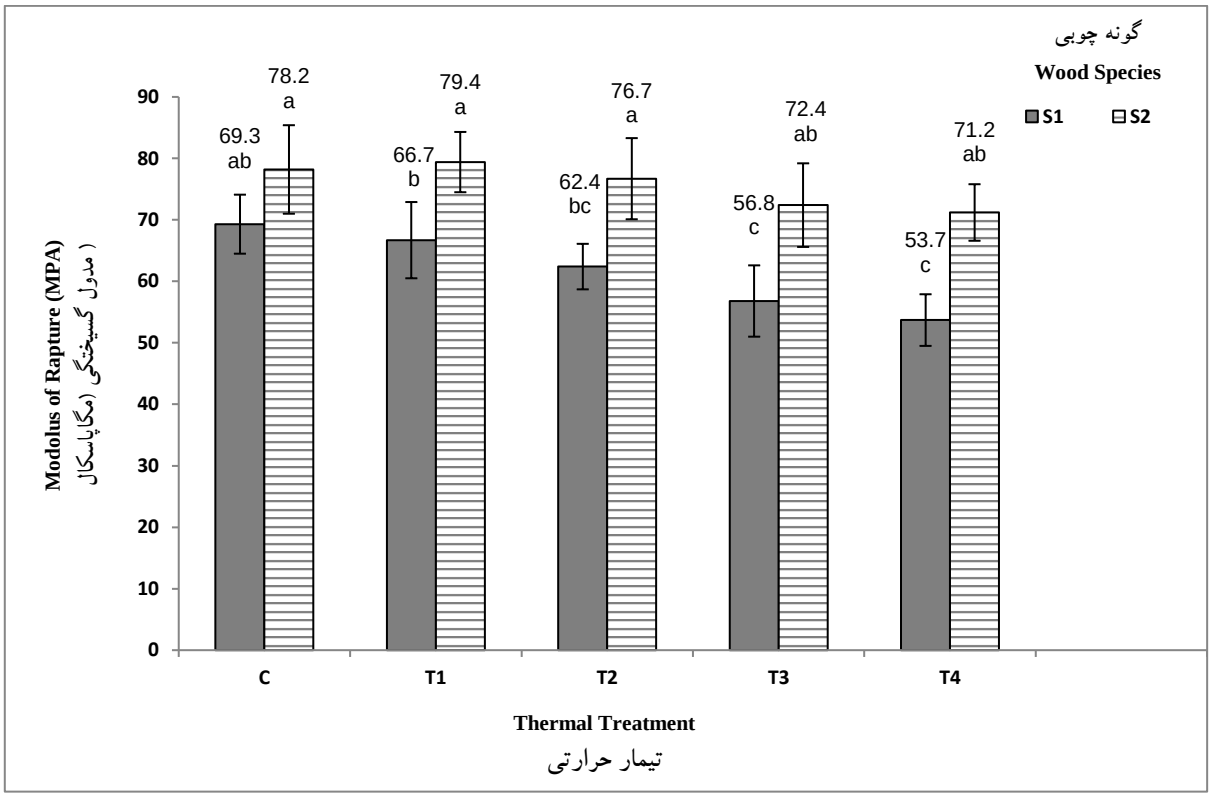
ns (Lack of significance) - * (Significance at the statistical confidence level of more than 95%)

## نتایج

نتایج تجزیه‌وتحلیل آماری به‌صورت آنالیز واریانس به شرح جدول ۲ نشان داده شده است.

## مقاومت به خمش

طبق نتیجه به‌دست‌آمده از تجزیه واریانس (جدول ۲)، تیمارها تأثیر معنی‌دار آماری را در سطح ۵ درصد روی مقاومت به خمش یا مدول گسیختگی (MOR) نشان نداده‌اند. بااین‌حال، تأثیر درجه حرارت به این سطح نزدیک بوده و تغییرات قابل توجه‌ای را باعث شده است. نتایج نشان داد که چوب دو گونه مورد آزمایش در شرایط حرارتی ۱۸۰°C و زمان ۹۰ دقیقه دچار حداکثر کاهش در مقاومت خمشی شدند. در این میان مشاهده می‌گردد که در شرایط ذکر شده کاهش مقاومت خمشی چوب گونه صنوبر با شدت بیشتری نسبت به چوب کاج رادیاتا همراه بود. درحالی‌که این ویژگی در شرایط مورد بحث در چوب صنوبر از ۶۹/۳ به ۵۳/۷ مگاپاسکال برابر ۲۲/۵ درصد کاهش یافت. در کاج رادیاتا کاهش از ۷۸/۲ به ۷۱/۲ مگاپاسکال برابر ۸/۹ درصد بود.



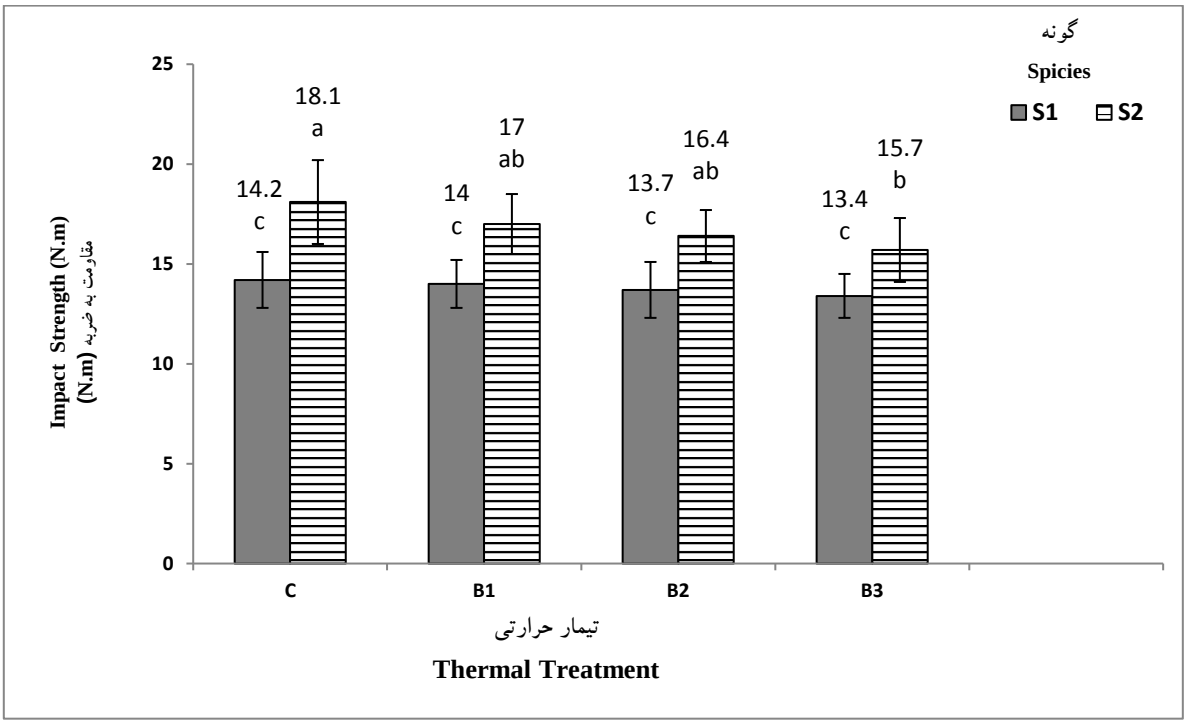

**شکل ۱- تغییرات مقاومت به خمش چوب دو گونه تحت تأثیر عوامل حرارتی تیمار آب‌گرمایی**

**Fig 1. Interaction of thermal and species treatments in bending resistance of wood**

### مقاومت به ضربه

همان‌گونه که جدول شماره ۲ نشان می‌دهد تیمار اسید بوریک و درجه حرارت تیمار آب‌گرمایی در سطح ۵ درصد بر ویژگی مقاومت به ضربه، تأثیر معنی‌داری داشت. در شکل ۲ تأثیر اسید بوریک را بر ویژگی ذکر شده می‌توان مشاهده کرد. به روشنی ملاحظه می‌شود که اشباع با اسید بوریک بر چوب گونه کاج رادیاتا اثر کاهنده داشته است. تیمار ۵ درصد اسید بوریک سبب کاهش حدود ۱۳/۳ درصد مقاومت به ضربه در چوب کاج رادیاتا شد، درحالی‌که در چوب صنوبر تنها باعث کاهش ۵/۶ درصد گردید.

بر مبنای جدول آنالیز واریانس، می‌توان مشاهده کرد که درجه حرارت به‌صورت معنی‌داری بر مقاومت به ضربه چوب دو گونه اثرگذار بوده است. شکل ۳ نشان می‌دهد که به‌طورکلی این تأثیر در تمام شرایط حرارتی جنبه کاهنده داشته است و چوب دو گونه در شرایط حرارتی ۱۸۰°C و زمان ۹۰ دقیقه حساسیت مشابه‌ای داشته‌اند. در شرایط مورد بحث، چوب هر دو گونه با بیشترین میزان کاهش مقاومت به ضربه در حدود ۲۸/۲ درصد همراه شدند که در چوب گونه صنوبر کاهش از ۱۴/۲ به ۱۰/۲ و در چوب کاج از ۱۸/۱ به ۱۳/۲ نیوتن در متر بود.



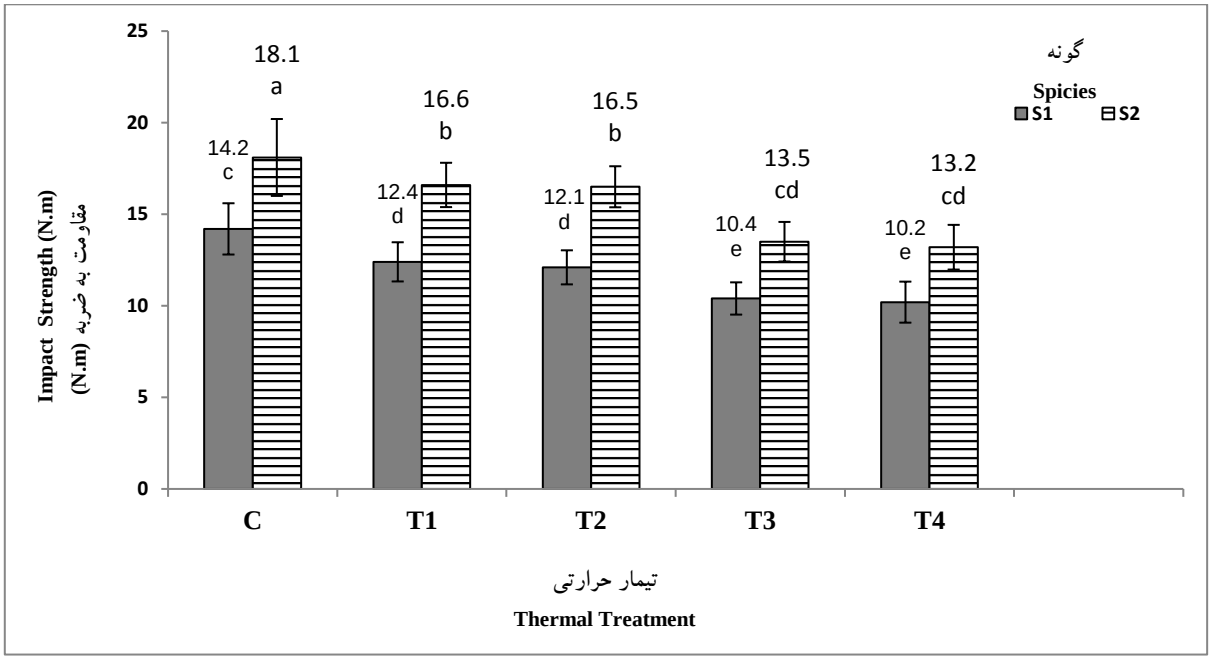

**شکل ۲- تغییرات مقاومت به ضربه چوب دو گونه تحت تأثیر تیمار اسید بوریک**

**Figure 2. Interaction of boric acid and species treatments in impact resistance of wood**

### واکشیدگی ضخامت ۲۴ ساعت

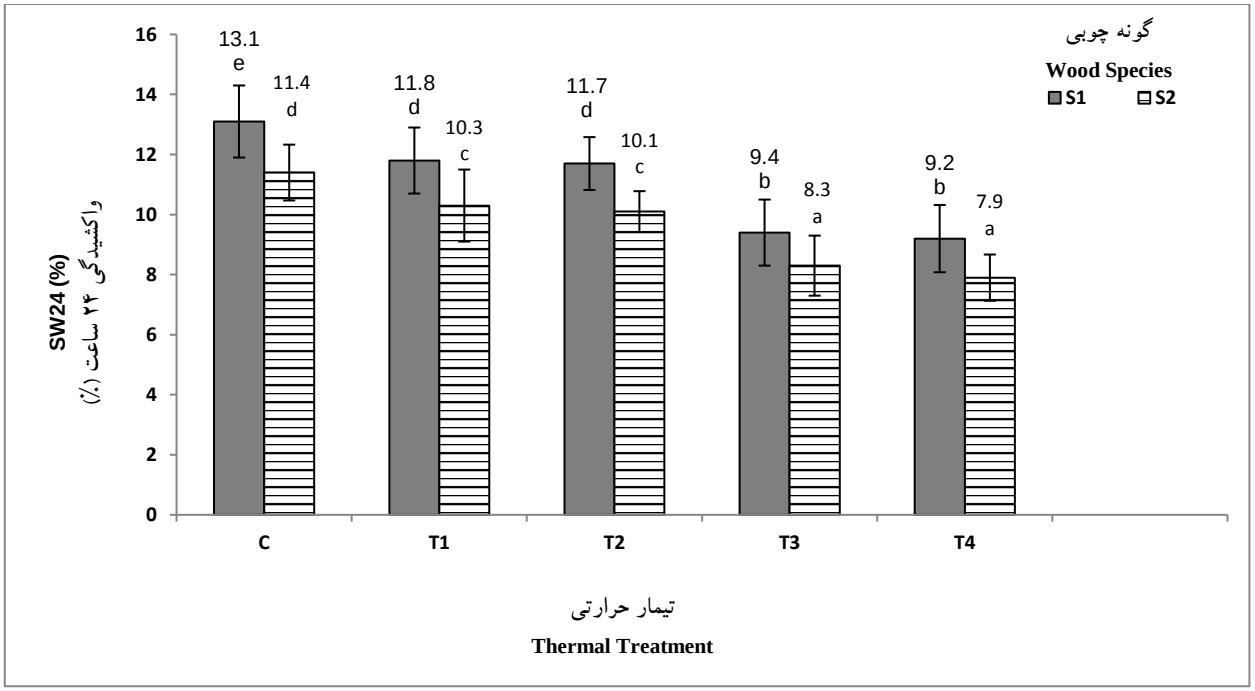
همان‌گونه که مشاهده می‌شود تجزیه واریانس تأثیر درجه حرارت را در مورد این ویژگی معنی‌دار نشان داده است. در شکل ۴ روند تغییرات مشاهده می‌گردد. در همخوانی با نتایج ذکرشده که در شکل ۳ آشکار شده می‌توان دریافت که درجه حرارت در دامنه دمایی ۱۵۰ تا ۱۸۰ درجه سانتی‌گراد بسیار بیشتر از زمان حرارت در دامنه زمانی ۶۰ تا ۹۰ دقیقه اثرگذار بوده است، به‌نحوی‌که آنالیز واریانس تنها تأثیر درجه حرارت را معنی‌دار ارزیابی کرد. چنین تأثیری را در چوب دو گونه مورد مطالعه می‌توان مشابه مشاهده کرد.

در چوب گونه صنوبر و کاج در تیمار ۱۸۰°C و زمان ۹۰ دقیقه به ترتیب ۳۷/۴ و ۳۰/۷ درصد کاهش واکشیدگی ضخامت مشاهده شد.




شکل ۳- تغییرات مقاومت به ضربه چوب دو گونه تحت تأثیر عوامل حرارتی تیمار آب‌گرمایی

**Figure 3. Interaction of thermal and species treatments in impact resistance of wood**

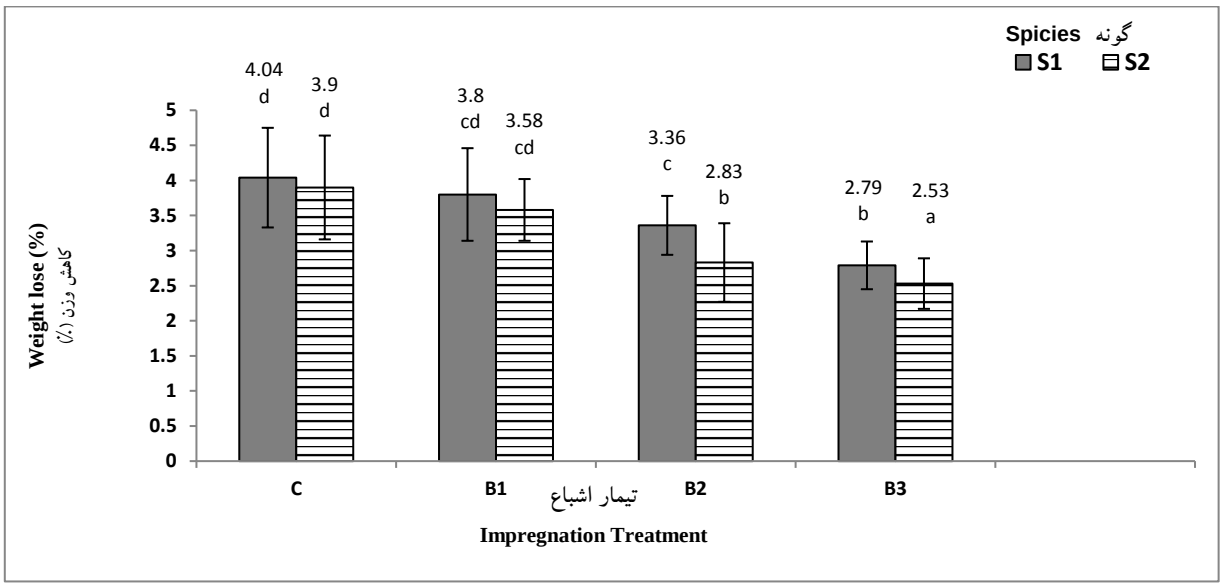



شکل ۴- تغییرات واکشیدگی ضخامت بیست‌وچهار ساعت **SW24** چوب دو گونه تحت تأثیر تیمار آب‌گرمایی

**Figure 4. Interaction of thermal and species treatments in $SW_{24}$ of wood SW24**

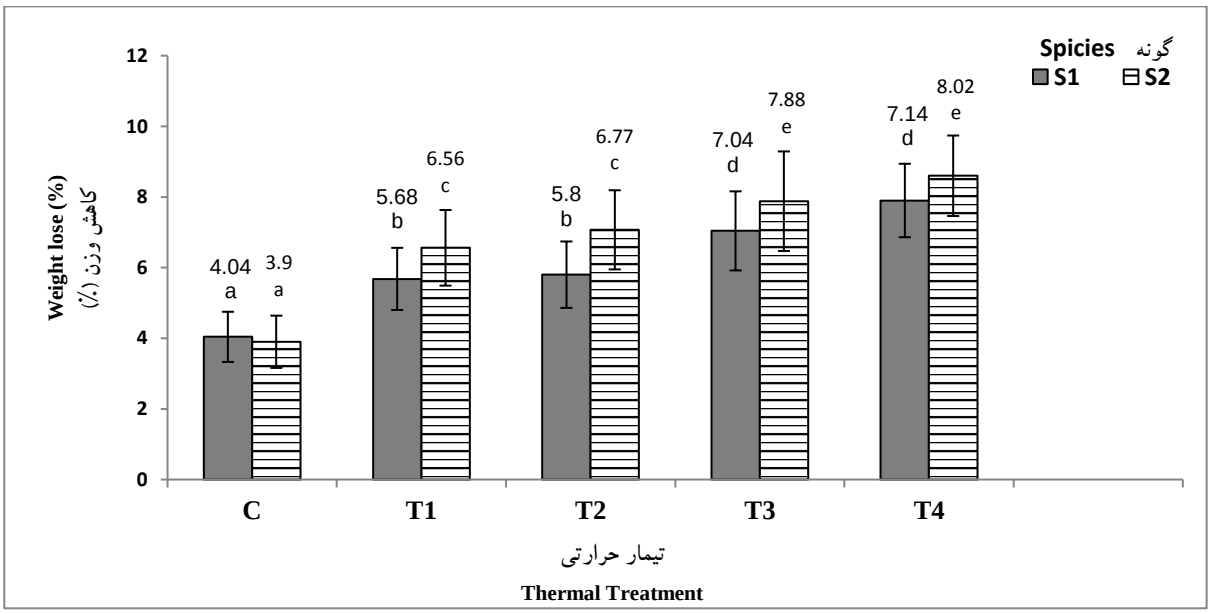
**مقاومت به آتش**

طبق جدول شماره ۲، آنالیز واریانس اثر تیمار اسید بوریک و درجه حرارت را بر تغییر جرم ناشی از آتش معنی‌دار نشان داده است. شکل ۵ روند تغییرات کاهش جرم را بر اثر تیمار اسید بوریک نمایان می‌کند. تجزیه واریانس همچنین اثر درجه حرارت را معنی‌دار ارزیابی کرد. تغییرات حاصل از تیمار آب‌گرمایی بر کاهش وزن در شکل ۶ مشاهده می‌شود. مطابق با جدول شماره ۲ قابل توجه است.




شکل ۵- تغییرات کاهش جرم چوب دو گونه تحت تأثیر تیمار اشباع اسیدبوریک

**Figure 5. Interaction of boric acid and species treatments in weight loss of wood**



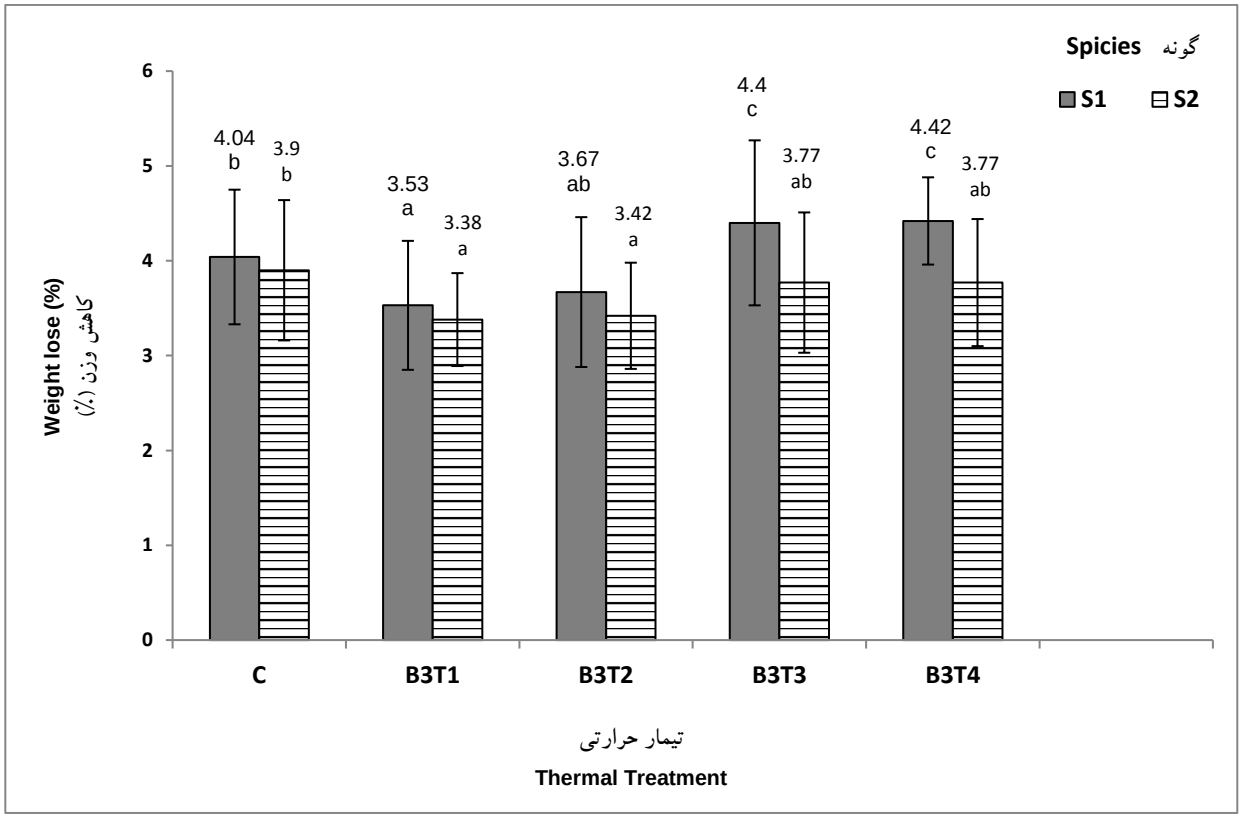

شکل ۶- تغییرات کاهش وزن چوب دو گونه تحت تأثیر شرایط حرارتی تیمار آب‌گرمایی

**Figure 6. Interaction of hydrothermal and species treatments in weight loss of wood**

در مورد تیمار اسید بوریک کمترین کاهش جرم بر اثر آتش در تیمار ۵ درصد حاصل شد که در مقایسه با شاهد در چوب دو گونه صنوبر و کاج برابر کاهش به ترتیب ۳۰/۹ و ۳۵/۱ بود.

بر مبنای نتایج شکل ۶ می‌توان مشاهده کرد که درجه حرارت بیش از زمان حرارت باعث کاهش جرم نمونه‌ها شده است. در این مورد بیشترین کاهش وزن نمونه‌ها در دمای ۱۸۰°C و زمان ۹۰ دقیقه برابر ۷/۱۴ و ۸/۰۲ به ترتیب در چوب صنوبر و کاج مشاهده شد که به‌ترتیب برابر ۷۶/۷ و ۱۰۵/۶ درصد میزان افزایش در کاهش وزن در چوب صنوبر و کاج بود.

تیمار تلفیقی اسید بوریک- آب‌گرمایی کاهش وزن کمتری نسبت به تیمار حرارتی داشت و اندازه‌ها نزدیک به تیمار اشباع بود. دراین‌ارتباط تیمار ۱۸۰°C با زمان ۶۰ دقیقه در تلفیق با تیمار ۵ درصد اسید بوریک باعث شد که چوب صنوبر تنها ۹/۴ درصد بیشتر از نمونه شاهد کاهش وزن را نشان دهد و چوب کاج حتی کاهش وزن کمتری را در حدود ۳/۳ درصد نسبت به نمونه شاهد نشان داد. تیمار تلفیقی °C ۱۸۰ با زمان ۶۰ دقیقه به همراه ۵ درصد اسید بوریک، حداقل کاهش وزن را نتیجه داد. این کاهش وزن به ترتیب به میزان ۱۲/۶ و ۱۳/۳ درصد در چوب دو گونه صنوبر و کاج در مقایسه با شاهد مشاهده گردید. روند تغییرات بر اثر تیمار تلفیقی اسید بوریک- آب‌گرمایی در شکل ۷ مشاهده می‌گردد.




شکل ۷- تغییرات کاهش وزن چوب دو گونه تحت تأثیر شرایط حرارتی تیمار آب‌گرمایی

**Figure 7. Interaction of hydrothermal, boric acid and species treatments in weight loss of wood**

## بحث

نتایج ذکرشده نشان می‌دهد که تیمارهای مورد مطالعه تأثیر مثبت بر برخی ویژگی‌های چوب و منفی بر برخی دیگر داشته‌اند. در رابطه با ویژگی مکانیکی مقاومت خمش عامل حرارت باعث تجزیه ترکیباتی از چوب شده که به کاهش جرم آن انجامیده است. درنتیجه این مقاومت که وابستگی زیادی به جرم دارد دچار کاهش می‌شود. Boonstra و Tjeerdsma (۲۰۰۶) گزارش کردند که تیمار حرارتی باعث کاهش مدول گسیختگی (مقاومت به خمش) چوب می‌شود و به همی‌سلولز به‌عنوان یک عامل مؤثر اشاره نمودند. در این رابطه میان تجزیه همی‌سلولز و کاهش مقاومت‌های چوب در دماهای بالا رابطه خطی تعیین گردید (Kubojima و همکاران، ۲۰۰۰؛ Kartal و همکاران ۲۰۰۸). روند تغییرات مشاهده‌شده در شکل ۱ این موضوع را در ارتباط با چوب گونه صنوبر بیان می‌دارد؛ اما تأثیر کمتر در مورد کاج را می‌توان به دمای بالاتر وابسپارش همی‌سلولز چوب سوزنی‌برگان نسبت به چوب پهن‌برگان مربوط دانست. Taghiyari و همکاران (۲۰۲۱) به افزایش مقاومت در دمای ۱۴۵°C در چوب گونه کاج جنگلی اشاره نمودند. عوامل مؤثر ایجاد پیوند هیدروژنی برگشت‌ناپذیر به همراه دمای انتقال شیشه‌ای منتج به شکستن پیوند کووالانسی میان لیگنین و همی‌سلولز و پلیمر شدن دوباره در ساختار کربوهیدرات‌ها بیان شد. همچنین به این نکته اشاره شد که چون در دمای ۱۴۵°C افت وزنی کمتر از نیم درصد بود تأثیر فرایند ذکرشده غلبه داشت، درحالی‌که در دمای ۱۸۰°C درصد بعکس اثر کاهش جرم به علت مقدار بسیار بیشتر در مقایسه با دمای ۱۴۵°C تعیین‌کننده بود.

در مورد مقاومت به ضربه تأثیر منفی تیمار اسید بوریک مشهود است. Fidan و Adanur (۲۰۱۹)، بیان کردند که اشباع چوب با اسید بوریک سبب قرارگرفتن اسید بوریک میان میکروفیبریل‌های دیواره سلولی و تأثیر بر ساختار کریستالی می‌گردد.

این می‌تواند علت کاهش مقاومت به ضربه چوب کاج رادیاتا بر اثر اشباع با اسید بوریک تلقی گردد، زیرا به نظر می‌رسد به علت بلندتر بودن الیاف آن نسبت به صنوبر، انعطاف‌پذیری الیاف آن کاهش می‌یابد، ضمن آنکه مجموعه عوامل ساختاری دیگر را می‌توان مؤثر دانست. درجه حرارت باعث کاهش مقاومت به ضربه چوب هر دو گونه مورد مطالعه شد. در پژوهشی Taghiyari و همکاران (۲۰۲۱)، به این نتیجه رسیدند که کاهش بخش آمورف و افزایش بخش کریستالیته چوب کاج در مقایسه با چوب گونه پهن‌برگ راش با میزان بیشتری همراه بود که تأثیر آن را در مقاومت‌های چوب می‌توان مشاهده کرد. پیش‌تر Boonstra (۲۰۰۸) به مجموعه عوامل ساختاری اشاره کرد که حساسیت چوب گونه‌های کاج رادیاتا و صنوبر را به حرارت برمی‌انگیزانند. ازجمله اینکه حساسیت پارانشیم‌های اشعه چوبی و سلول‌های اپیتلیال پیرامون کانال‌های صمغی در چوب کاج رادیاتا را به حرارت مطرح نمود که بر مقاومت‌های چوب تأثیر منفی دارد. به لایه‌لایه شدن دیواره سلولی چوب کاج رادیاتا پس از تیمار حرارتی اشاره کرد. یکی از عوامل کاهش مقاومت‌های چوب کاج رادیاتا را بخش جوان‌چوب آن بیان نمود که دارای همی‌سلولز بیشتر به همراه زاویه بالاتر میکروفیبریل است. در این رابطه تعامل بین سلولز و همی‌سلولز که بر اساس اتصالات ثانویه شکل می‌پذیرد تعیین‌کننده مقاومت به ضربه بیان گردیده‌اند. در این مورد اتصالات کووالانسی میان همی‌سلولز با لیگنین و سلولزهای میکروفیبریل‌ها مؤثر شمرده شدند. همچنین حساسیت چوب گونه‌های پهن‌برگ مانند صنوبر به کولاپس آوند و تغییر شکل‌های لیبری‌فرم را بر اثر حرارت مورد بحث قرار داد که شکستگی عمود بر الیاف قابل توجه را نتیجه می‌دهد و باعث کاهش مقاومت‌ها ازجمله مقاومت به ضربه می‌گردد.

در مورد هم‌کشیدگی، فاکتور درجه حرارت در تیمار آب‌گرمایی اثر بهبوددهنده بر این ویژگی فیزیکی داشته، به عبارت‌دیگر ثبات ابعادی را افزایش داده است. تجزیه همی‌سلولز به‌عنوان آب‌دوست‌ترین ترکیب چوب، عامل اصلی به نظر می‌رسد که افزایش درجه حرارت به آن سرعت می‌دهد. همچنین افزایش کریستالیته بخش سلولز عامل دیگری محسوب می‌شود. Alén و همکاران (۲۰۰۶) بیان کردند که بر اثر تیمار حرارتی، میان پلیمرهای (سلولز) دیواره سلولی پیوند

عرضی ایجاد می‌شود که در نتیجه آن گروه‌های هیدروکسیل دیواره سلولی چوب بلوکه می‌شوند. نتایج مطالعه Martinka و همکاران (۲۰۱۳) نمایان کرد که در چوب تیمار حرارتی‌شده، بخشی از ترکیبات آب‌دوست چوب تجزیه می‌گردند. در چنین شرایطی تیمار حرارتی باعث افزایش اندازه منافذ و تعداد منافذ دیواره سلولی می‌شود اما سبب کاهش پایگاه‌های جذب آب می‌شود که به کاهش واکشیدگی می‌انجامد (Hill، ۲۰۰۶). Rassam و همکاران (۱۳۹۳) گزارش کردند درجه حرارت بیش از زمان حرارت‌دهی باعث بهبود ثبات ابعادی چوب می‌شود، به‌طورکلی نتایج نشان داد که با افزایش دما از ۱۲۰ به ۱۸۰ درجه سانتی‌گراد واکشیدگی به‌صورت پلکانی کاهش می‌یابد.

در رابطه با مقاومت به آتش، نتایج اثر مثبت اشباع با اسید بوریک و منفی حرارت را نشان داد. در این میان اسید بوریک باعث کاهش اثر منفی حرارت به میزان زیادی شد. اسید بوریک به‌عنوان کندسوز عمل می‌کند و زمانی که چوب ابتدا با آن اشباع و بعد تیمار حرارتی می‌شود سبب می‌گردد که لایه سوخته‌شده چوبی از گسترش آتش جلوگیری کند. Salman و همکاران (۲۰۱۴)، بیان کردند که اشباع با بوراکس قبل از تیمار حرارتی، روشی برای بهبود چوب اصلاح حرارتی‌شده در مقابل آتش و عوامل مخرب زیستی است. Wang و همکاران (۲۰۱۲) دریافتند پیش‌اشباع چوب با بورات، از تخریب همی‌سلولزها پیشگیری می‌کند، در نتیجه میزان کمتری از کاهش جرم چوب پس از تیمار حرارتی نسبت به چوب بدون تیمار پیش‌اشباع با بورات مشاهده خواهد شد. پژوهش Uner و همکاران (۲۰۱۶) آشکار کرد که تیمار چوب با بورات‌ها، دمای تخریب حداکثر را کاهش و میزان زغال نیم‌سوز را افزایش می‌دهد، چون واکنش‌های زغالی‌شدن با افزودن بورات‌ها افزایش می‌یابد. در نمونه اشباع‌شده با بوراکس و تیمار حرارتی‌شده، کاهش جرم کمتری ملاحظه شد. اشباع اولیه چوب با بوراکس بر کاهش فرایندهای هیدرولیز اسیدی طی تیمار حرارتی اثرگذار بوده و از تخریب حرارتی جلوگیری کرد. Awoyemi و Westermark (۲۰۰۵) نتیجه گرفتند که اشباع با بورات به‌عنوان محیط فراگیر قلیایی قبل از تیمار حرارتی، سبب شد که ترکیبات بر پایه بور شدت تخریب حرارتی را کاهش دهد. این پدیده به علت اثر بافرکنندگی قلیا بر اسیدیته چوب بود. Fazeli و Talaei (۲۰۱۸) اثر تیمار حرارتی و اشباع اولیه چوب نراد را با بوراکس بر مقاومت به آتش و رفتار حرارتی مورد تحقیق قرار دادند. آنالیز حرارتی نشان داد که بوراکس سبب افزایش مقاومت به تخریب حرارتی چوب تیمار حرارتی‌شده، گردید و با تغییر مسیر پیرولیز چوب و افزایش زغال باقی‌مانده، سبب جلوگیری از گسترش شعله شد. به طورکلی نتیجه‌گیری شد که بوراکس رفتار حرارتی چوب تیمار حرارتی‌شده را تغییر داد؛ به‌نحوی‌که سبب تأخیر در نقطه اشتعال، افزایش مقاومت در برابر آتش و کندسوزی آن شد. این موضوع امتیاز بزرگی در فرایند مصرف چوب محسوب می‌شود. Song و همکاران (۲۰۲۰) تأثیر مثبت اشباع با نانو کربن پس از تیمار حرارتی را بر مقاومت به آتش چوب گزارش کردند. چنین نتیجه‌گیری شد که تیمار آب‌گرمایی باعث کاهش رطوبت تعادل چوب گردید، در نتیجه امکان تشکیل یک لایه محافظ متراکم از مواد افزودنی غنی از کربن در سطح خارجی چوب با اشباع محلول ۵ درصد (اشباع خلأ در فاز آبی) فراهم شد.

در نتیجه‌گیری کلی می‌توان به نکات زیر اشاره کرد.

- از تلفیق اشباع چوب با اسید بوریک با تیمار آب‌گرمایی برای ارتقاء مقاومت به آتش چوب می‌توان بهره برد؛

- در موقعیتی که برای بهبود ثبات ابعادی چوب به‌ویژه چوب‌های سبک تیمار حرارتی به‌کار می‌رود، بهتر است به علت کاهش مقاومت‌های چوب به‌ویژه مقاومت به ضربه از ضخامت بیشتر استفاده شود.

## منابع مورد استفاده

-Alén, R., Kotilainen, R. and Zaman, A., 2002. Thermochemical behavior of Norway spruce (Picea abies) at 180-225ºC. Wood science and technology, 36: 163-171.

- Awoyemi, L. and Westermark, U., 2005. Effects of borate impregnation on the response of wood strength to heat treatment. Wood Sci Technol, 39: 484-491.

-Boonstra, M., and Tjeerdsma, B., 2006.Chemical analysis of heat treated softwoods. HolzRoh- Werkst, 64: 204-211.

-Boonstra, M.J., 2008 A two-stage thermal modification of wood. Ph.D. dissertation in cosupervision Ghent University and Université Henry Poincaré - Nancy 1,297 p.

-Dahmardeh, M. and Nazerian, M., 2011. Changes in the Physical and Mechanical Properties of Iranian Hornbeam Wood (carpinus betulus) with Heat Treatment, Uropean Journal of Scientific Research, 51 (4): 490-498.

-Dastoorian, F., Farhadi, F., Hoseinzadeh, F. and Zabihzadeh, S.M., 2018. Effect of thermal modification on chemical and physical properties of Iranian Beech (Fagus orientalis) and Velvet Maple (Acer velutinum) wood, Iranian Journal of Wood and Paper Science Research Vol. 33 No. (1).

-Fazeli, A. and Talaei, A., 2018. The effect of heat treatment and primary impregnation of Fir wood with borax on the fire resistance and thermal behavior, J. of Wood & Forest Science and Technology, Vol. 25 (4. ,

-Fidan, M.S. and Adanur, H., 2019. Physical and mechanical properties of wood impregnated with quebracho and boron compounds, Forestist 2019, 69(1): 68-80.

-Hill, A.S.C., 2006. Wood Modification Chemical, Thermal and other processes. John Wiley and Sons PRESS England. Pp: 99-127.

-Kartal S.N., Hwang W.J. and Imamura Y., 2008: Combined effect of boron compounds and heat treatment on wood properties: Chemical and strength properties of wood, Journal of Materials Processing Technology 198: 234-240.

-Kocaefe, D., Younsi, R., Poncsak, S. and Kocaefe,Y., 2007.Comparison of different models for the hightemperature heat-treatment of wood. International Journal of Thermal Sciences, 46:707-716 .

-Kotilainen, R., 2000. Chemical changes in wood during heating at 150-260 ˚C. PhD thesis, Jyvaskyla University, Research report 80, Finland, 2000.

-Kubojima Y., Okano T. and Ohta M., 2000: Bending strength and toughness of heat treated wood, J. Wood Sci 46:8-15.

-Martinka, J., Tomas, C., Kral, J. and Balog, K., 2013. An Examination of the Behavior of Thermally Treated Spruce Wood under Fire Conditions. Wood research. 58(4): 599-606.

-Parsapajoh, D., Faezipour, M. and Taghiyare, H., 2004.Industrial Timber Preservation. Tehran University Publication. 657p. (In Persian).

- Percin, O., Sofuoglu, S. and Uzun, O., 2015. Effects of Impregnation and Heat Treatment on Some Mecchanical Properties of Oak (Quercus Pettraea Liebl.) Wood, BioResources, 10(3): 3963-3978.

-Rassam, R., Taghiyari, H.R. and Ebrahimi, M., 2013. Study on the Effect of Combined Nanosilver—Hygrothermall Treatments on Wood Properties, Iranian Journal of Wood and Paper Industries, Vol. 5, No. 1.

-Rusche, H., 1973. Thermal degradation of wood at temperatures up to 200°C. Part II. Reaction kinetics of loss of mass during heat treatment of wood. Holz als Roh-und Werkst off., 31: 8. 307-312.

-Salman, S., Petrissans, A., Thevenon, M.F., Dumarcay, S., Perrin, D., Pollier, B. and Gerardin, P., 2014. Development of new wood treatments combining boron impregnation and thermo modification: effect of additives on boron lecheability. Eur. J Wood Prod. 72: 355-365.

-Song, K., Ganguly, I., Eastin, I. and Dichiara, A., 2020. High temperature and fire behavior of hydrothermally modified wood impregnated with carbon nanomaterials, Journal of Hazardous Materials, Volume 384, 121283.

-Taghiyari, H R., Bayani, S., Militz, H. and Papadopoulos, A.N., 2021. Heat Treatment of Pine Wood: Possible Effect of Impregnation with Silver Nanosuspension, Forests 2020, 11, 466; doi:10.3390/f11040466.

-Uner, I.H., Deveci, I., Baysal, E., Turkoglu, T., Toker, H. and Peker, H., 2016. Thermal analysis of oriental beech wood treated with some borates as fire retardants. Maderas. Ciencia y tecnologia, 18(2): 293-304.

-Wang, W., Cao, J., Cui, F. and Wang, X., 2012. Effect of PH on chemical components and mechanical properties of thermally modified wood, "Wood and Fiber Science, 44(1): 46-53.

-Wikberg, H. and Maunu, S.L., 2004. Characterization of thermally modified hard and softwoods by 13C CPMAS NMR. Carbohydrate Polymer 58: 461-466.

-Zahedsheijani, R. and Gholamiyan, H., 2010. The Potential Use of Nanozycosil and Sodium Montmorillonite (NaMMT) nanoclay to decrease Water Absorption in MDF. Iranian Journal of Wood and Paper Industries, 1(2): 69-81, (In Persian).

# Effects of hydrothermal and boric acid impregnation treatments on some physical and mechanical properties and fire resistance of poplar (*Populus nigra*) and radiata pine (*Pinus radiata*)

**R. Jazayeri[1]*, R. Hajihassani[2] and S. Nazari[3]**

1*- Corresponding author, Researcher, Wood and Forest Products Science Research Division, Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO)**,** Tehran, Iran, E-mail: rjazayeri7@gmail.com

2 -Associate Prof., Wood and Forest Products Science Research Division, Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran

3-Resaech expert, Wood and Forest Products Science Research Division, Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran

Received: Nov., 2021 Accepted: Aug., 2022

**Abstract**

The main purpose of this study was to evaluate the effect of hydrothermal treatment with boric acid impregnation on some physical and mechanical characteristics and fire resistance of poplar (*Populus nigra*) and radiata pine (*Pinus radiata*) wood. In this study, two times of 60 and 90 minutes with two temperatures of 150°C and 180°C were used for the hydrothermal treatment, and boric acid with the concentrations of 1, 3 and 5% dissolved in water was used for the impregnation treatment. The measurement of the bending strength, impact resistance, volumetric swelling and fire resistance (weight loss due to fire) were done using ASTM-D143, ASTM-D256, ASTM 4446-2002 and ISO 11925 testing procedure, respectively. On fire resistance, 5% boric acid treatment showed the least weight loss due to burning of two species. As a result of the hydrothermal treatment alone, the fire resistance was even lower than the control. In this regard, the combination of hydrothermal treatment with boric acid treatment resulted in results close to those of hydrothermal with boric acid treatment. Positive effect of hydrothermal treatment on the improvement of dimensional stability, is considered as one of the results of the present study. The temperature of 180°C with a time of 90 minutes reduced the swelling of poplar and radiata pine by about 36.8 and 42%, respectively. Regarding impact resistance, the effect of hydrothermal treatment on the wood of both species and the effect of boric acid treatment on radiata pine wood were negative. Hydrothermal treatment at a temperature of 180°C and with a time of 90 minutes decreased the impact resistance by 28.2% in the wood of both species, and 5% boric acid treatment caused a 13.3% decrease in this property in radiata pine wood.

**Keywords:** Thermal treatment ،boric acid ،dimensional stability ،fire resistance.