

## تأثیر سن درخت، ضخامت و عمق الوارهای تبریزی تیمار حرارتی شده بر تغییر رنگ و نم‌پذیری چوب بعد از هوازدگی تسریع شده

سعید حسینی<sup>۱</sup>، محمد طلائی پور<sup>۲\*</sup>، بهزاد بازاریار<sup>۳</sup>، امیر هومن حمصی<sup>۴</sup> و سعید مهدوی<sup>۵</sup>

۱- دانش آموخته مقطع دکتری تخصصی، گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، واحد علوم تحقیقات دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

۲- نویسنده مسئول، دانشیار، گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، واحد علوم تحقیقات دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران،  
پست الکترونیک: m.talaeipoor@srbiau.ac.ir

۳- استادیار، گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، واحد علوم تحقیقات دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

۴- استاد، گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، واحد علوم تحقیقات دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

۵- دانشیار، بخش تحقیقات علوم چوب و فرآورده‌های آن، مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

تاریخ دریافت: مهر ۱۴۰۱ تاریخ پذیرش: آذر ۱۴۰۱

### چکیده

در این پژوهش از چوب تبریزی (*Populus nigra*) قطع شده از استان زنجان در دو گروه سنی ۱۸ و ۲۸ سال استفاده شد. از هر گروه سنی الوارهایی با ضخامت‌های ۴، ۵ و ۶ سانتی‌متر تهیه گردید. الوارهای تهیه شده با فرایند تیمار حرارتی (ترمووود) در دمای ثابت ۲۱۲ درجه سانتی‌گراد اصلاح شدند. نمونه‌های آزمونی از سطح و عمق الوارهای تیمار حرارتی شده تهیه گردید. نمونه‌های چوب تیمار حرارتی شده و شاهد در معرض هوازدگی تسریع شده طی مدت زمان ۱۵۰ ساعت قرار گرفتند. میزان روشنی رنگ ( $L^*$ )، تفاضل رنگ ( $\Delta E^*$ ) و نم‌پذیری نمونه‌های تیمار حرارتی شده و شاهد قبل و بعد از هوازدگی اندازه‌گیری شد. به منظور بررسی میزان نم‌پذیری سطح چوب، از روش اندازه‌گیری زاویه تماس قطره آب - استاتیک مطابق استاندارد ASTM D 5946 استفاده گردید. به‌طور کلی قبل از هوازدگی، میزان روشنی رنگ نمونه‌های تیمار حرارتی شده نسبت به نمونه شاهد کاهش یافت اما بعد از هوازدگی، میزان روشنی رنگ نمونه‌های شاهد کاهش و میزان روشنی رنگ نمونه‌های تیمار حرارتی شده افزایش پیدا کرد. همچنین میزان تفاضل رنگ نمونه‌ها بعد از هوازدگی نسبت به قبل از هوازدگی، کاهش نشان داد. تیمار حرارتی باعث افزایش زاویه تماس قطره آب نمونه‌ها تا ۶۰/۳۱ درصد شد و میزان زاویه تماس قطره آب نمونه‌های تیمار حرارتی شده و شاهد بعد از هوازدگی نسبت به قبل از هوازدگی افزایش پیدا کرد.

واژه‌های کلیدی: چوب تبریزی، تیمار حرارتی، تغییرات رنگ، روشنی رنگ، زاویه تماس.

### مقدمه

درجه سانتی‌گراد با بخار حرارت داده می‌شود. بخار مورد استفاده علاوه بر حفاظت چوب از صدمه دیدن، موجب تغییرات شیمیایی در چوب می‌شود (Tarmian et al., 2014). از میان روش‌های اصلاح چوب، محصول به‌دست‌آمده از

تیمار حرارتی چوب و تولید ترمووود روشی است که توسط انجمن ترمووود فنلاند (VTT) در سال ۲۰۰۱ معرفی و توسعه داده شد. بر این اساس، چوب تا دمای حداقل ۱۸۰

بر ظاهر چوب، فرایند هوازدگی است. هوازدگی تجزیه سطحی چوب است که اساساً با تابش نور خورشید آغاز می‌شود اما فاکتورهای دیگری هم در آن نقش دارند مانند تر و خشک شدن چوب، تغییرات فصلی، تغییر رطوبت نسبی، تغییرات دما، آلودگی هوا و فعالیت‌های انسانی (Karamanoglu & Akildiz., 2013). هوازدگی منجر به تغییرات نامطلوب از جمله تغییر رنگ، افزایش زبری سطح، ایجاد ترک و کاهش خواص فیزیکی و مکانیکی می‌شود. فرایند هوازدگی بیشتر اوقات با فرایند تغییر رنگ به پایان می‌رسد، منظور از تغییر رنگ، تخریب فیزیکی سطح چوب است که اساساً در نتیجه تأثیرات ناشی از نور خورشید و آب اتفاق می‌افتد (Turkoglu et al., 2017). شرایطی مانند نور خورشید، باد و باران تأثیری بر روی دوام الوار چوب تیمار حرارتی شده ندارند ولی رنگ چوب بعد از مدتی به خاکستری تغییر پیدا می‌کند. لیگنین نور فرابنفش را به شدت جذب می‌کند و همین موضوع منجر به کاهش درجه پلیمریزاسیون لیگنین و سایر پلی‌ساکاریدهای موجود در دیواره سلولی چوب می‌شود (Karamanoglu & Akildiz., 2013). نفوذ اشعه فرابنفش در چوب حدود  $75 \mu\text{m}$  از سطح چوب می‌باشد و می‌توان گفت هوازدگی عملکردی سطحی دارد. گروه‌های رنگ‌ساز جاذب اشعه فرابنفش چوب در لیگنین وجود دارد و دیگر ترکیبات پلی‌فنولی و پلی‌ساکاریدی نقش کمتری در جذب اشعه فرابنفش دارند، با توجه به نتایج طیف‌های به دست آمده بیشترین تغییرات مربوط به گروه‌های عاملی لیگنین و ساختار آروماتیک آن است (Akhtari & Arefkhani., 2010). شرایط تیمار حرارتی در تمام تحقیقات انجام شده معمولاً یکسان نیست. طی بررسی‌های به عمل آمده تاکنون تحقیقی در زمینه تأثیر سن درخت، ضخامت و عمق الوار تیمار حرارتی شده بر ویژگی‌های چوب صنوبر انجام نشده و بیشتر تحقیقات به بررسی تأثیر دما و مدت زمان تیمار بر گونه‌های مختلف پرداخته‌اند. به هر حال تأثیر سن درخت، ضخامت و عمق الوار بر ویژگی‌های چوب تیمار حرارتی شده نامشخص است، به همین منظور در این تحقیق به بررسی تأثیر این عوامل بر میزان تغییر رنگ و نپذیری ترموود تیریزی (*Populus nigra*) قبل و بعد از هوازدگی تسریع شده پرداخته شد.

روش اصلاح حرارتی (ترموود) برخلاف برخی دیگر، مثل روش‌های اصلاح شیمیایی چوب، محیط‌زیست را آلوده نمی‌کند و به عبارت دیگر دوستدار محیط‌زیست است. از سوی دیگر، افزایش عمر مفید چوب با ترمو شدن به‌ویژه در کاربردهای بیرونی ساختمان، موجب کاهش مصرف چوب شده که می‌تواند بر کاهش تخریب جنگل‌ها اثر بگذارد. به‌طور کلی تیمار حرارتی باعث تغییر در ترکیبات دیواره سلولی چوب می‌گردد، برای نمونه، باعث تخریب همی‌سلولزها، افزایش کریستالیت سلولز، تخریب مواد استخراجی و تغییر در ساختار لیگنین می‌شود که به دلیل همین موضوع باعث تغییر در برخی از ویژگی‌های چوب می‌گردد (Boonstra et al., 2007). با افزایش دمای تیمار حرارتی، رنگ چوب تیره‌تر می‌شود (Forsman et al., 2008). کاهش میزان روشنی رنگ ( $L^*$ ) نشان‌دهنده این است که نمونه‌ها بعد از اعمال تیمار حرارتی تیره‌تر شدند که این تیرگی رنگ چوب‌های تیمار حرارتی شده ممکن است به دلیل تغییر ساختار لیگنین و نشست آن بر سطح چوب و تخریب سایر پلی‌ساکاریدهای غیر سلولزی رخ داده باشد (Turkoglu et al., 2017). تیمار حرارتی در دماهای بالاتر (۲۲۵-۳۲۵) درجه سانتی‌گراد منجر به تخریب چوب، تغییر رنگ ناگهانی، از بین رفتن الیاف، تغییرات ابعادی و ترک خوردگی‌های سطحی می‌شود (Ziglio et al., 2017). تیمار حرارتی تأثیر قابل توجهی بر میزان نپذیری چوب دارد (Gerardin et al., 2007). طی فرایند تیمار حرارتی، همی‌سلولزها به شدت تحت تأثیر قرار می‌گیرند و سلولز و لیگنین تا حد مشخصی اصلاح می‌شوند که با کاهش گروه‌های هیدروکسیل دیواره سلولی، نپذیری چوب نیز کاهش می‌یابد (Karamanoglu & Akildiz., 2013). طبق تحقیقات انجام شده نپذیری چوب تیمار حرارتی شده در دمای بین ۱۳۰ تا ۲۱۰ درجه سانتی‌گراد کاهش پیدا می‌کند (Esteves & Pereira., 2008). طی بررسی که بر روی تیمار حرارتی گونه‌های چوب راش، نوئل و کاج در دماهای ۴۰ تا ۲۶۰ درجه سانتی‌گراد طی مدت زمان ۸ ساعت انجام شد، نتایج نشان داد که نپذیری به‌طور ناگهانی در دمای ۱۳۵ درجه سانتی‌گراد کاهش و بعد کم کم با افزایش دما افزایش می‌یابد (Hakkou et al., 2005). مهمترین عناصر بیرونی مؤثر

## مواد و روش‌ها

در این تحقیق ۵ اصله درخت تبریزی (*Populus nigra*) با قطر برابر سینه ۲۵ و ۵۰ سانتی‌متر به ترتیب در دو گروه سنی ۱۸ و ۳۸ سال از منطقه زنجان‌رود استان زنجان، انتخاب و قطع گردید. دو انتهای گرده‌بینه‌ها به وسیله چسب لاتکس برای جلوگیری از تبادل رطوبتی سریع با محیط و ایجاد ترک احتمالی پوشانده شد. گرده‌بینه‌ها به الوارهایی با ضخامت‌های ۴، ۵ و ۶ سانتی‌متر (شعاعی)، پهنای ۱۵ سانتی‌متر (مماسی) و طول ۲۰۰ سانتی‌متر اندازه‌بری شدند. برای انجام فرایند تیمار حرارتی، از الوارهای با کیفیت و عاری از هرگونه عیب و نقص مانند ترک، گره و پوسیدگی استفاده شد. الوارها با استفاده از پلاک‌های آلومینیومی کدگذاری شدند و به کارخانه ترموود انتقال پیدا کردند. الوارهای شاهد هم به‌منظور کاهش رطوبت و رسیدن به رطوبت تعادلی با محیط بر روی دستک-های چوبی نگهداری شدند.

## تیمار حرارتی

به‌منظور انجام فرایند تیمار حرارتی، ابتدا الوارها بر روی پالت قرار گرفتند و در بین الوارها، دستک‌های فلزی آلومینیومی قرار داده شد. قبل از انجام فرایند تیمار حرارتی، میزان رطوبت نمونه‌ها حدود ۲۵ درصد بود. الوارها توسط واگن به داخل کوره منتقل شدند و فرایند تیمار حرارتی شروع

شد. مرحله اول، گرمایش اولیه یا پیش‌تیمار حرارتی بود که دمای کوره با استفاده از گرمای بخار آب تا ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد افزایش پیدا کرد. در مرحله دوم، دمای کوره تا رسیدن رطوبت نمونه‌ها به حدود صفر به آرامی تا ۱۳۰ درجه سانتی‌گراد افزایش یافت و این مرحله ۳۳ ساعت طول کشید. در مرحله سوم، دمای داخل کوره به تدریج از ۱۳۰ به ۲۱۲ درجه سانتی‌گراد افزایش یافت و این مرحله شش ساعت به طول انجامید. در مرحله چهارم، الوارها در دمای ثابت ۲۱۲ درجه سانتی‌گراد به مدت دو ساعت تیمار حرارتی شدند و در مرحله آخر شامل سرمایش یا پایین آوردن دمای نمونه‌های چوبی، دما با استفاده از سیستم افشانه آب کاهش یافت. این مرحله با توجه به ضخامت و پهنای الوار، ۲۴ تا ۳۰ ساعت به طول می‌انجامد. بعد از انجام فرایند تیمار حرارتی میزان رطوبت نهایی الوارها به ۴ درصد رسید.

## تهیه نمونه‌های آزمونی

بعد از انجام تیمار حرارتی، نمونه‌های آزمونی از سطح و عمق الوارهای تیمار حرارتی شده براساس سن درخت و ضخامت الوار تهیه شدند. قبل از انجام آزمون‌های تیمار حرارتی شده و شاهد، چوب تبریزی در اتاق کلیما و در شرایط محیطی استاندارد (رطوبت نسبی ۶۵ درصد و دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد) متعادل‌سازی شدند (جدول ۱).

جدول ۱- سطوح عوامل برای نمونه‌های چوبی تیمار حرارتی شده و شاهد

Table 1. Factor levels for heat treated and control wood samples

	سن درخت (سال) Tree Age (year)	ضخامت الوار (سانتی‌متر) Timber Thickness (cm)	عمق الوار Timber Depth
تیمار حرارتی شده Heat-treated	18	4	سطحی (S) Surface (S)
		5	میانی (M) Middle (M)
	38	6	
شاهد Control	18		
	38	-	-

استفاده شد. همچنین گروه‌بندی میانگین‌ها نیز با آزمون چند دامنه‌ای دانکن (DMRT) انجام گردید.

### نتایج

نتایج تجزیه واریانس طرح کاملاً تصادفی یک‌طرفه برای آزمون‌های مورد نظر قبل و بعد از هوازدگی نمونه‌های چوبی در جدول ۲ نشان داده شده است. نتایج آنالیز واریانس، اختلاف معنی‌داری را در سطح اعتماد ۹۹ درصد برای آزمون روشنی رنگ قبل و بعد از هوازدگی، تفاضل رنگ قبل و بعد از هوازدگی و زاویه تماس قطره آب قبل از هوازدگی نشان داد.

### روشنی رنگ

نتایج سنجش روشنی رنگ ( $L^*$ ) قبل و بعد از هوازدگی نشان داد، بعد از تیمار حرارتی، میزان روشنی رنگ نمونه‌های تیمار حرارتی شده نسبت به نمونه شاهد کاهش یافت. در نمونه‌های شاهد با افزایش سن درخت از ۱۸ به ۳۸ سال، میزان روشنی رنگ کاهش معنی‌داری نشان داد. بعد از هوازدگی میزان روشنی رنگ نمونه‌های شاهد نسبت به قبل از هوازدگی نیز کاهش یافت اما نمونه‌های تیمار حرارتی شده بعد از هوازدگی، روشنی رنگ بیشتری در مقایسه با قبل از هوازدگی نشان دادند. قبل و بعد از هوازدگی، بیشترین میزان روشنی رنگ در نمونه‌های شاهد ۱۸ و ۳۸ سال به ترتیب ۹۰/۱۹ و ۸۶/۹۹ و کمترین میزان روشنی رنگ در نمونه‌های S-۱۸-۶ و S-۳۸-۶، به ترتیب ۴۰/۲۳ و ۵۱/۶۴ اندازه‌گیری گردید. قبل از هوازدگی در نمونه‌های ۱۸ سال تهیه شده از عمق سطحی (S) الوار، با افزایش ضخامت از ۴ به ۵ و ۶ سانتی‌متر، روشنی رنگ کاهش معنی‌داری نشان داد. در نمونه‌هایی که از عمق میانی (M) الوار تهیه شدند، با افزایش ضخامت از ۴ به ۵ سانتی‌متر کاهش معنی‌دار بود اما بین ضخامت ۵ و ۶ سانتی‌متر اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. بعد از هوازدگی در نمونه‌های ۱۸ و ۳۸ سال تهیه شده از عمق سطحی (S) و میانی (M) الوار، با افزایش ضخامت نمونه از ۴ به ۶ سانتی‌متر روشنی رنگ کاهش یافت (شکل ۱).

### هوازدگی تسریع‌شده

برای انجام این فرایند، از دستگاه هوازدگی تسریع‌شده مدل UFT 340 ساخت شرکت Iran Lab استفاده شد. این دستگاه برابر با استاندارد ASTM G 154 کار می‌کند. در این سیستم از اشعه فرابنفش، اسپری آب و دما به صورت یک چرخه مکرر استفاده می‌شود. نمونه‌ها در این دستگاه در شرایط دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد، رطوبت نسبی ۶۵ درصد و تحت تابش اشعه فرابنفش با طول‌موج nm ۳۴۰ و شدت تابش  $40 \text{ w/m}^2$  قرار گرفتند و بعد از هر ۱۰۲ دقیقه تابش اشعه حدود ۱۸ دقیقه اسپری آب برای دوره زمانی ۱۵۰ ساعت انجام شد.

### سنجش رنگ

تغییرات رنگ سطح نمونه‌ها با استفاده از دستگاه اندازه‌گیری رنگ مدل PN-48A ساخت شرکت PNSHAR انجام شد. برای این منظور از نمونه‌هایی به ابعاد  $50 \times 50 \times 10 \text{ mm}$  برای سنجش و ارزیابی تغییرات رنگی نمونه‌های تیمار حرارتی شده و شاهد قبل و بعد از هوازدگی تسریع‌شده با سه تکرار برای هر نمونه استفاده شد.

### نم‌پذیری

به منظور بررسی میزان نم‌پذیری سطحی نمونه‌های تیمار حرارتی شده و شاهد قبل و بعد از هوازدگی، از روش اندازه‌گیری زاویه تماس قطره آب به روش استاتیک با سه تکرار استفاده شد. اندازه‌گیری زاویه تماس قطره آب با سطح نمونه‌ها، مطابق با استاندارد ASTM D 5946 با دستگاه Drop Shape Analyser ساخت شرکت کروزر آلمان مدل 25 SADE انجام شد. حجم قطره دو میکرولیتر، سرعت افتادن قطره ۲/۶۷ میکرولیتر بر ثانیه و دمای محیط ۲۰ درجه سانتی‌گراد بود.

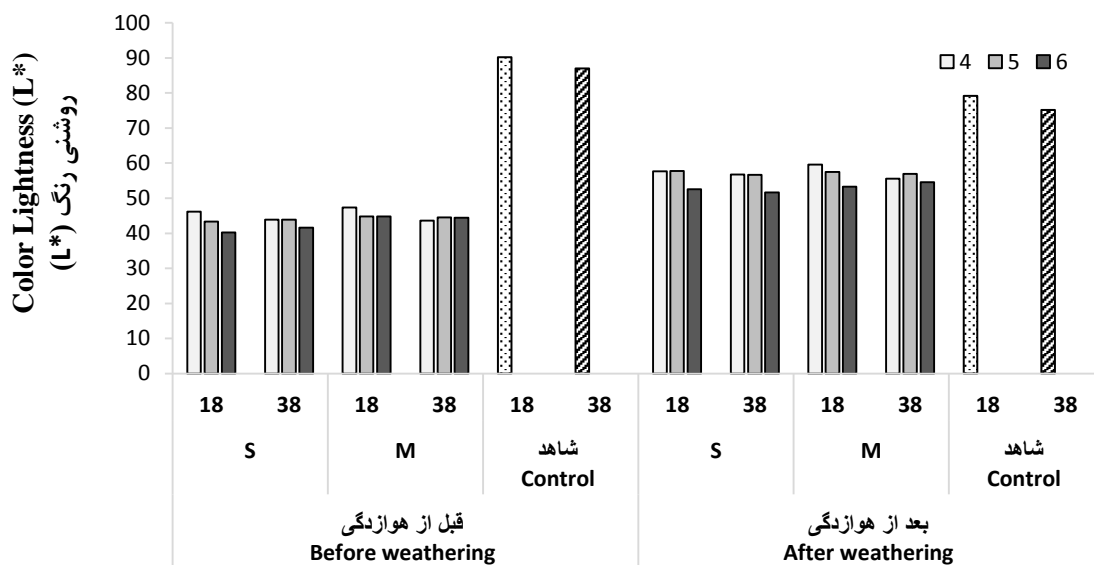
### تجزیه و تحلیل داده‌ها

برای تجزیه و تحلیل داده‌ها از نرم‌افزار SPSS (20.0) و آزمون آنالیز واریانس یک‌طرفه در قالب طرح کاملاً تصادفی

جدول ۲- تجزیه واریانس تغییرات خواص نمونه‌ها با طرح کاملاً تصادفی یک طرفه

Table 2. Completely randomized designs (CRD) of wood samples properties by one-way ANOVA

خواص Properties	درجه آزادی df	F	سطح معنی داری P
روشنی رنگ (L*) قبل از هوازدگی Color lightness before weathering	13	12011.796	0.000
روشنی رنگ (L*) بعد از هوازدگی Color lightness after weathering	13	250.587	0.000
تفاضل رنگ (ΔE*) قبل از هوازدگی Color difference before weathering	11	61.678	0.000
تفاضل رنگ (ΔE*) بعد از هوازدگی Color difference after weathering	11	63.916	0.000
زاویه تماس قبل از هوازدگی Contact angle before weathering	13	6.080	0.000
زاویه تماس بعد از هوازدگی Contact angle after weathering	13	1.547	0.162



شکل ۱- روشنایی رنگ نمونه‌های چوب تبریزی تیمار حرارتی شده و شاهد قبل و بعد از هوازدگی (سن درخت: ۱۸ و ۳۸ سال، ضخامت الوار: ۴، ۵ و ۶ سانتی‌متر، عمق الوار: سطحی (S) و میانی (M))

Figure 1. Color Lightness of heat-treated black poplar wood and control samples before and after weathering (Tree age: 18 and 38 years - Timber thickness: 4, 5 and 6 cm - Timber depth: surface (S) and middle (M))

نیز با نمونه‌های تیمار حرارتی شده اختلاف معنی داری مشاهده شد. در نمونه‌های تهیه شده از عمق سطحی (S) الوار چوبی، بین سن ۱۸ و ۳۸ سال در هر سه ضخامت ۴، ۵ و ۶ سانتی‌متر، اختلاف معنی دار بود. در نمونه‌های چوبی ۱۸ ساله

گروه‌بندی میانگین‌های روشنایی رنگ با آزمون دانکن قبل از هوازدگی نمونه‌ها انجام شد (جدول ۳). نتایج آنالیز واریانس، اختلاف معنی داری را در سطح اعتماد ۹۹ درصد نشان داد. بین روشنایی رنگ نمونه‌های شاهد ۱۸ و ۳۸ سال

با سن ۱۸ و ۳۸ سال، اختلاف معنی‌دار بود. در هر دو سن ۱۸ و ۳۸ سال، با افزایش ضخامت از ۴ به ۵ سانتی‌متر اختلاف معنی‌دار شد، اما با افزایش ضخامت تا ۶ سانتی‌متر اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۳).

بین ضخامت ۴، ۵ و ۶ سانتی‌متر اختلاف معنی‌دار بود، اما در نمونه‌های چوبی ۳۸ ساله با افزایش ضخامت تا ۶ سانتی‌متر، اختلاف معنی‌دار شد. در نمونه‌های تهیه شده از عمق میانی (M) الوار چوبی، فقط بین ضخامت ۴ سانتی‌متر در نمونه‌های

جدول ۳- مقایسه و گروه‌بندی میانگین‌های روشنی رنگ ( $L^*$ ) قبل از هوازدگی

Table 3. Color lightness ( $L^*$ ) comparison and grouping means before weathering

عمق الوار Timber Depth	سطحی S						میانی M							
سن درخت Tree Age (year)	18						38						شاهد 18 Control	شاهد 38 Control
ضخامت الوار Timber Thickness (cm)	4	5	6	4	5	6	4	5	6	4	5	6		
گروه‌بندی Grouping	d	g	i	f	f	h	c	e	e	fg	e	e	a	b

اختلاف معنی‌دار مشاهده نشد اما با افزایش ضخامت تا ۶ سانتی‌متر این اختلاف معنی‌دار شد. در نمونه‌های تهیه شده از عمق میانی (M) الوار، بین سن ۱۸ و ۳۸ سال در ضخامت‌های مختلف، فقط نمونه‌های با ضخامت ۴ سانتی‌متر اختلاف معنی‌داری نشان دادند. در نمونه‌های ۱۸ سال بین هر سه ضخامت ۴، ۵ و ۶ سانتی‌متر اختلاف معنی‌دار مشاهده شد ولی در نمونه‌های ۳۸ سال بین ضخامت ۴ و ۶ سانتی‌متر اختلاف معنی‌دار نبود (جدول ۴).

گروه‌بندی میانگین‌های روشنی رنگ با آزمون دانکن بعد از هوازدگی نمونه‌ها در جدول ۴ نشان داده شده است. روشنی رنگ بعد از هوازدگی بین نمونه‌های شاهد ۱۸ و ۳۸ سال با نمونه‌های تیمار حرارتی شده اختلاف معنی‌داری را نشان داد. در نمونه‌های تهیه شده از عمق سطحی (S) الوار چوبی، بین نمونه‌های سن ۱۸ و ۳۸ سال در هر سه ضخامت ۴، ۵ و ۶ سانتی‌متر، اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. همچنین در نمونه‌های ۱۸ و ۳۸ سال بین ضخامت ۴ و ۵ سانتی‌متر

جدول ۴- مقایسه و گروه‌بندی میانگین‌های روشنی رنگ ( $L^*$ ) بعد از هوازدگی

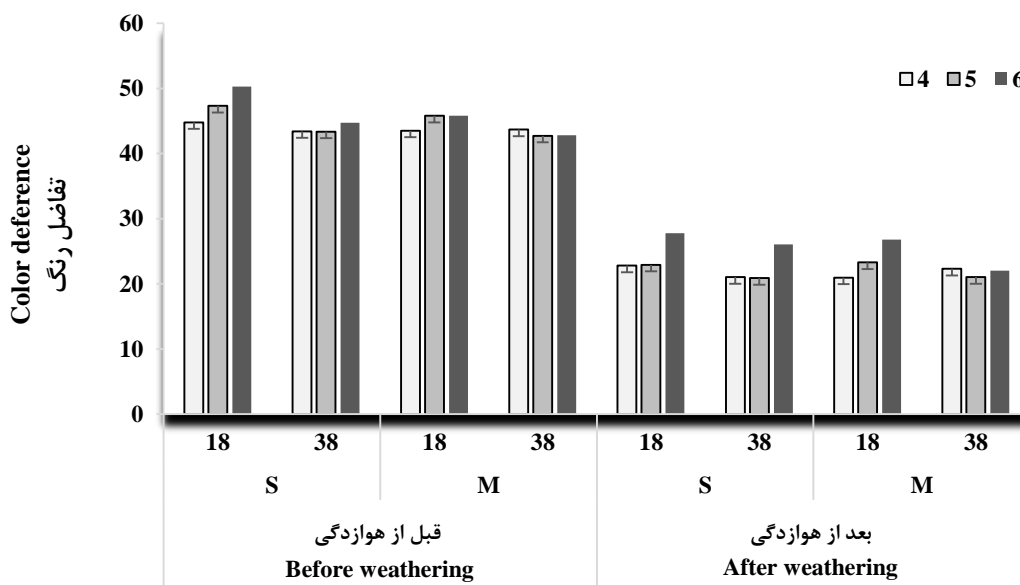
Table 4. Color lightness ( $L^*$ ) comparison and grouping means after weathering

عمق الوار Timber Depth	سطحی S						میانی M							
سن درخت Tree Age (year)	18						38						شاهد 18 Control	شاهد 38 Control
ضخامت الوار Timber Thickness (cm)	4	5	6	4	5	6	4	5	6	4	5	6		
گروه‌بندی Grouping	d	d	h	de	de	h	c	d	gh	ef	de	fg	a	b

## تفاضل رنگ

حرارتی شده نسبت به نمونه شاهد را قبل و بعد از هوازدگی نشان می‌دهد.

شکل ۲ میزان تفاضل رنگ ( $\Delta E^*$ ) نمونه‌های تیمار



شکل ۲- تفاضل رنگ ( $\Delta E^*$ ) نمونه‌های چوب تبریزی تیمار حرارتی شده و شاهد قبل و بعد از هوازدگی (سن درخت: ۱۸ و ۳۸ سال، ضخامت الوار: ۴، ۵ و ۶ سانتی‌متر، عمق الوار: سطحی (S) و میانی (M))

Figure 2. Color difference of heat-treated black poplar wood and control samples before and after weathering (Tree age: 18 and 38 years - Timber thickness: 4, 5 and 6 cm - Timber depth: surface (S) and middle (M))

و ۳۸ سال تهیه شده از عمق سطحی الوار چوبی در هر سه ضخامت ۴، ۵ و ۶ سانتی‌متر، اختلاف معنی‌داری مشاهده شد. در نمونه‌های تهیه شده از عمق سطحی الوار، برای نمونه‌های ۱۸ سال، با افزایش ضخامت از ۴ به ۵ و ۶ سانتی-متر اختلاف معنی‌دار بود ولی برای نمونه‌های ۳۸ سال بین ضخامت ۴ و ۵ سانتی‌متر اختلاف معنی‌دار نبود. در نمونه‌های تهیه شده از عمق میانی الوار، بین نمونه‌های ۱۸ و ۳۸ سال تا ضخامت ۴ سانتی‌متر اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد اما با افزایش ضخامت به ۵ و ۶ سانتی‌متر این اختلاف معنی‌دار شد. در نمونه‌های ۱۸ و ۳۸ سال تهیه شده از عمق میانی الوار، بین ضخامت ۵ و ۶ سانتی‌متر اختلاف معنی‌دار نبود ولی بین ضخامت ۴ و ۵ سانتی‌متر اختلاف معنی‌دار مشاهده شد (جدول ۵).

میزان تفاضل رنگ ( $\Delta E^*$ ) نمونه‌های تیمار حرارتی شده، قبل و بعد از هوازدگی تعیین شد. میزان تفاضل رنگ نمونه‌ها بعد از هوازدگی نسبت به قبل از هوازدگی، کاهش نشان داد. بیشترین میزان تفاضل رنگ قبل و بعد از هوازدگی در نمونه‌های S-۱۸-۶ به ترتیب ۲۷/۷۸ و ۵۰/۲۷ اندازه‌گیری شد. میزان تفاضل رنگ نمونه‌های ۱۸ سال، قبل و بعد از هوازدگی با افزایش ضخامت از ۴ به ۶ سانتی‌متر افزایش معنی‌داری نشان داد. نمونه‌های ۳۸ سال قبل از هوازدگی با افزایش ضخامت، تفاضل رنگ چندانی نشان ندادند ولی بعد از هوازدگی در نمونه‌های تهیه شده از عمق سطحی الوار، با تغییر ضخامت از ۴ به ۶ سانتی‌متر، تفاضل رنگ به شدت افزایش یافت (شکل ۲). گروه‌بندی میانگین‌های تفاضل رنگ قبل از هوازدگی نمونه‌ها در جدول ۵ نشان داده شده است. بین نمونه‌های ۱۸

جدول ۵- مقایسه و گروه‌بندی میانگین‌های تفاضل رنگ ( $\Delta E^*$ ) قبل از هوازدگیTable 5. Color difference ( $\Delta E^*$ ) comparison and grouping means before weathering

عمق الوار Timber Depth	سطحی S						میانی M					
سن درخت Tree Age (year)	18			38			18			38		
ضخامت الوار Timber Thickness (cm)	4	5	6	4	5	6	4	5	6	4	5	6
گروه‌بندی Grouping	d	b	a	ef	ef	d	ef	C	c	e	f	ef

شده از عمق میانی الوار چوبی، بین نمونه‌های ۱۸ و ۳۸ سال در هر سه ضخامت اختلاف معنی‌دار بود. در نمونه‌های ۱۸ سال تهیه شده از عمق میانی، بین ضخامت ۴، ۵ و ۶ سانتی‌متر اختلاف معنی‌دار مشاهده شد، در نمونه‌های ۳۸ سال تهیه شده از عمق میانی با ضخامت ۵ سانتی‌متر، نسبت به نمونه‌های با ضخامت ۴ و ۶ سانتی‌متر اختلاف معنی‌دار نشان دادند ولی بین ضخامت ۴ و ۶ سانتی‌متر اختلاف معنی‌دار مشاهده نشد (جدول ۶).

گروه‌بندی میانگین‌های تفاضل رنگ بعد از هوازدگی نمونه‌ها در جدول ۶ نشان داده شده است. نتایج آنالیز واریانس، اختلاف معنی‌داری را در سطح اعتماد ۹۹ درصد نشان داد. در نمونه‌های تهیه شده از عمق سطحی الوار چوبی، بین نمونه‌های ۱۸ و ۳۸ سال در هر سه ضخامت ۴، ۵ و ۶ سانتی‌متر، اختلاف معنی‌دار بود. در نمونه‌های ۱۸ و ۳۸ سال تهیه شده از عمق سطحی الوار، با افزایش ضخامت از ۴ به ۶ سانتی‌متر اختلاف معنی‌دار مشاهده شد. در نمونه‌های تهیه

جدول ۶- مقایسه و گروه‌بندی میانگین‌های تفاضل رنگ ( $\Delta E^*$ ) بعد از هوازدگیTable 6. Color difference ( $\Delta E^*$ ) comparison and grouping of means after weathering

عمق الوار Timber Depth	سطحی S						میانی M					
سن درخت Tree Age (year)	18			38			18			38		
ضخامت الوار Timber Thickness (cm)	4	5	6	4	5	6	4	5	6	4	5	6
گروه‌بندی Grouping	cd	cd	a	e	e	b	e	C	b	d	E	d

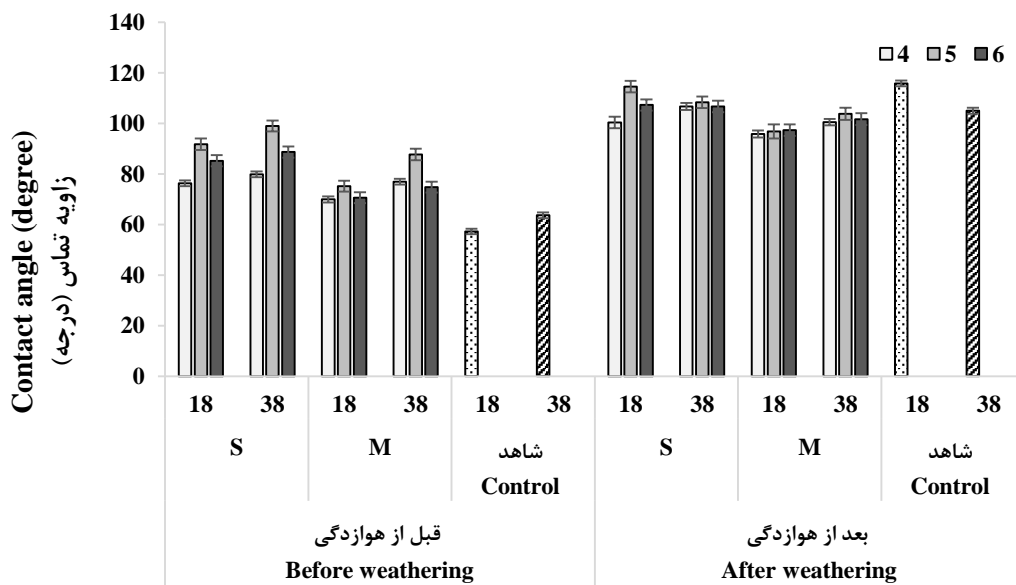
قبل از هوازدگی، زاویه تماس نمونه‌های تیمار حرارتی شده نسبت به نمونه‌های شاهد افزایش یافت. در نمونه‌های شاهد و تیمار حرارتی شده قبل از هوازدگی، با افزایش سن درخت از ۱۸ به ۳۸ سال، زاویه تماس افزایش پیدا کرد. بعد از هوازدگی زاویه تماس نمونه‌های تیمار حرارتی شده در

زاویه تماس شکل ۳ زاویه تماس نمونه‌های تیمار حرارتی شده و شاهد، قبل و بعد از هوازدگی را نشان می‌دهد. زاویه تماس نمونه‌های تیمار حرارتی شده و شاهد بعد از هوازدگی نسبت به قبل از هوازدگی افزایش نشان داد. بعد از تیمار حرارتی و



مقایسه با نمونه‌های شاهد کاهش یافت و زاویه تماس نمونه‌های شاهد ۳۸ سال نسبت به ۱۸ سال کاهش نشان داد. با افزایش ضخامت از ۴ به ۵ سانتی‌متر زاویه تماس افزایش یافت ولی در نمونه‌های با ضخامت ۶ سانتی‌متر کاهش یافت. بیشترین زاویه تماس در نمونه شاهد ۱۸ سال بعد از هوازدگی

۱۱۵/۸۲ درجه و کمترین زاویه تماس در نمونه شاهد ۱۸ سال قبل از هوازدگی، ۵۷/۲۵ درجه اندازه‌گیری شد. زاویه تماس نمونه‌های تهیه شده از عمق میانی الوار نسبت به نمونه‌های تهیه شده از عمق سطحی الوار، از زاویه تماس کمتری برخوردار بودند (شکل ۳).



شکل ۳- زاویه تماس نمونه‌های چوب تبریزی تیمار حرارتی شده و شاهد قبل و بعد از هوازدگی (سن درخت: ۱۸ و ۳۸ سال، ضخامت الوار: ۴، ۵ و ۶ سانتی‌متر، عمق الوار: سطحی (S) و میانی (M))

Figure 3. Contact angle of heat-treated black poplar wood and control samples before and after weathering (Tree age: 18 and 38 years - Timber thickness: 4, 5 and 6 cm - Timber depth: surface (S) and middle (M))

از هوازدگی نمونه‌ها در جدول ۷ نشان داده شده است. نتایج آنالیز واریانس، اختلاف معنی‌داری را در سطح اعتماد ۹۹ درصد نشان داد. بین نمونه‌های ۱۸ سال شاهد و تیمار حرارتی شده به جز دو تیمار ۱۸-۵-S و ۱۸-۶-S، اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. بین نمونه‌های ۳۸ سال شاهد و تیمار حرارتی شده اختلاف معنی‌دار مشاهده شد. در نمونه‌های تهیه شده از عمق سطحی الوار چوبی، بین نمونه‌های ۱۸ و ۳۸ سال در هر سه ضخامت ۴، ۵ و ۶ سانتی‌متر، اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. در نمونه‌های ۱۸ سال تهیه شده از عمق سطحی بین ضخامت ۴، ۵ و ۶ سانتی‌متر اختلاف معنی‌دار نبود ولی در نمونه‌های ۳۸ سال تهیه شده از عمق سطحی، فقط بین

میانگین‌های زاویه تماس با آزمون دانکن قبل از هوازدگی نمونه‌ها در جدول ۷ نشان داده شده است. نتایج آنالیز واریانس، اختلاف معنی‌داری را در سطح اعتماد ۹۹ درصد نشان داد. بین نمونه‌های ۱۸ سال شاهد و تیمار حرارتی شده به جز دو تیمار ۱۸-۵-S و ۱۸-۶-S، اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. بین نمونه‌های ۳۸ سال شاهد و تیمار حرارتی شده اختلاف معنی‌دار مشاهده شد. در نمونه‌های تهیه شده از عمق سطحی الوار چوبی، بین نمونه‌های ۱۸ و ۳۸ سال در هر سه ضخامت ۴، ۵ و ۶ سانتی‌متر، اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. در نمونه‌های ۱۸ سال تهیه شده از عمق سطحی بین ضخامت ۴، ۵ و ۶ سانتی‌متر اختلاف معنی‌دار نبود ولی در نمونه‌های ۳۸ سال تهیه شده از عمق سطحی، فقط بین

اختلاف معنی‌دار گردید. در نمونه‌های تهیه شده از عمق میانی الوار، بین نمونه‌های ۱۸ و ۳۸ سال در هر سه ضخامت، اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. همچنین در نمونه‌های ۱۸ و ۳۸ سال تهیه شده از عمق میانی الوار بین ضخامت‌های مختلف، اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۷).

آنالیز واریانس یک‌طرفه در قالب طرح کاملاً تصادفی برای زاویه تماس بعد از هوازدگی انجام شد (جدول ۲). بر اساس این نتایج، بین میانگین‌های زاویه تماس بعد از هوازدگی اختلاف معنی‌دار نبود، بنابراین گروه‌بندی بین میانگین‌ها نیز انجام نشد.

جدول ۷- مقایسه و گروه‌بندی میانگین‌های زاویه تماس قبل از هوازدگی  
**Table 7. Contact angle comparison and grouping means before weathering**

عمق الوار Timber Depth	سطحی S						میانی M							
سن درخت Tree Age (year)	18		38				18		38				شاهد 18	شاهد 38
													Control	Control
ضخامت الوار Timber Thickness (cm)	4	5	6	4	5	6	4	5	6	4	5	6		
گروه‌بندی Grouping	bcde	ab	abcd	bcd	a	abc	def	cde	def	bcde	abc	cde	ef	f

## بحث

می‌شود، از سوی دیگر، رنگ نمونه‌های چوب راش تیمار حرارتی نشده پس از قرار گرفتن در معرض هوازدگی تسریع- شده تیره‌تر می‌شود که نشان می‌دهد نتایج این تحقیق با موارد ذکر شده مطابقت دارد. بعد از فرایند هوازدگی، کاهش روشنی رنگ سطح نمونه‌های تیمار حرارتی نشده را می‌توان به جا- به‌جایی و تخریب مواد استخراجی که در معرض اشعه فرابنفش و رطوبت قرار می‌گیرند، نسبت داد. که طی فرایند تیمار حرارتی بیشتر، خارج می‌شوند؛ بنابراین تغییرات رنگ نمونه- های تیمار حرارتی شده بعد از هوازدگی، اساساً می‌تواند به دلیل تخریب نوری لیگنین باشد (Xing *et al.*, 2015). میزان تخریب حرارتی به‌طور مستقیم با میزان تیره شدن رنگ مرتبط است. تغییر رنگ چوب به دلیل تغییرات در گروه کربونیل کتون‌ها، آلدئیدها و کینون‌های مزدوج ناشی از اصلاح لیگنین و سایر اجزای چوب ایجاد می‌شود (Nzokou *et al.*, 2011). میزان تیره شدن رنگ چوب طی تیمار حرارتی جنبه مهمی است که باید در کاربردهایی که ویژگی‌های زیبایی‌شناختی اهمیت دارند، در نظر گرفته شود و در برخی گونه‌های چوبی باعث مشتری‌پسند شدن چوب نیز می‌شود. میزان زاویه تماس قطره آب با نپذیری سطح چوب ارتباط مستقیم دارد. دمای بالای تیمار باعث ایجاد قطره‌های آب گردتر بر روی سطح چوب می‌شود ولی در نمونه‌های شاهد شکل قطره تقریباً صاف است و مایع به سرعت جذب سطح می‌شود و منجر به ایجاد زاویه تماس کوچک‌تر می‌گردد (Bakar *et al.*, 2013). قبل از هوازدگی، تیمار حرارتی تأثیر قابل توجهی بر افزایش

تیمار حرارتی یک پیرولیز آرام است که ترکیبات دیواره سلولی چوب را تغییر می‌دهد و می‌تواند باعث تخریب همی- سلولز، تبخیر مواد استخراجی و تغییر در ساختار لیگنین شود. روشنی رنگ سطح چوب به‌شدت تحت تأثیر فرایند تیمار حرارتی قرار می‌گیرد. میزان روشنی رنگ ( $L^*$ ) نمونه‌های چوب تیمار حرارتی شده در مقایسه با نمونه‌های شاهد، قبل و بعد از قرار گرفتن در معرض هوازدگی کاهش نشان داد. کاهش میزان روشنی رنگ مشخص می‌کند که نمونه‌ها پس از تیمار حرارتی تیره‌تر می‌شوند. تیره شدن رنگ پس از فرایند تیمار حرارتی ممکن است به دلیل تخریب لیگنین و سایر پلی‌ساکاریدهای غیرسلولزی و وجود کینون‌های قهوه‌ای تیره بر اثر اکسیداسیون ترکیبات فنولی باشد (Turkoglu *et al.*, 2017). بر اثر تیمار حرارتی چوب و تخریب همی‌سلولزها، اسید استیک آزاد می‌شود (Forsman *et al.*, 2008). اسید حاصل به‌عنوان یک کاتالیزور در هیدرولیز همی‌سلولزها با قندهای محلول عمل می‌کند (Tarmian *et al.*, 2014). گرما باعث کاراملی شدن این قندها می‌شود و این فرایند بر رنگ چوب تأثیر می‌گذارد. Olarescu و همکاران (۲۰۱۴) در تحقیق خود بیان کردند که الوار تیمار حرارتی شده رنگ تیره- تر و نمونه‌های تیمار حرارتی نشده دارای رنگ روشن‌تر هستند. در مطالعه دیگری، Baysal و همکاران (۲۰۱۴) دریافته‌اند که رنگ نمونه‌های چوب راش تیمار حرارتی شده پس از قرار گرفتن در معرض هوازدگی تسریع‌شده روشن‌تر

زاویه تماس قطره آب نسبت به نمونه شاهد داشت. تیمار حرارتی چوب اساساً منجر به ایجاد ویژگی‌های سطحی متفاوتی می‌شود. وجود مواد استخراجی فرار و محصولات تشکیل شده در نتیجه پیرولیز اکسیداتیو چوب باعث ایجاد سطوح آبگریز و کاهش میزان تخلخل سطحی می‌شود (Ziglio et al., 2017; Ghafrani et al., 2016). برای انجام دو آزمون زاویه تماس و سنجش رنگ، نمونه‌های آزمون با ضخامت ۱ سانتی‌متر از بخش سطحی و میانی الوارهای تیمار حرارتی شده با ۳ ضخامت (۴، ۵ و ۶ سانتی‌متر) تهیه شد. براساس تئوری، ضخامت نمونه قاعدتاً نباید بر عمق نفوذ حرارت‌دهی اثری داشته باشد اما براساس نتایج این تحقیق، برخی از نتایج ملند زاویه تماس، برای الوارهای با ضخامت ۵ سانتی‌متر بیشتر بود که این تفاوت نیز می‌تواند به دلیل وجود تغییراتی مانند مقدار مواد استخراجی و لیگنینی شدن درون‌چوب نسبت به برون‌چوب باشد. در درون‌چوب به دلیل وجود مواد استخراجی و لیگنین بیشتر، قابلیت جذب آب کمتر یا آبگریزی (Hydrophobicity) بیشتر است. Jin و همکاران (۲۰۱۳) اعلام کردند که در چوب صنوبر زرد، میزان لیگنین درون‌چوب و برون‌چوب به ترتیب ۱۱/۶۱ و ۱۰/۱۷ درصد می‌باشد. همچنین Morais و Pereira (۲۰۱۳) اعلام کردند که میزان مواد استخراجی عموماً در درون‌چوب بیشتر از برون‌چوب است. از این رو درصد بیشتر درون‌چوب در نمونه آزمون می‌تواند بر افزایش زاویه تماس اثر بگذارد.

طبق نتایج به‌دست‌آمده در این تحقیق، در هر ۲ سن درخت و هر ۳ ضخامت الوار، زاویه تماس نمونه‌های تهیه شده از عمق سطحی الوار نسبت به نمونه‌های تهیه شده از عمق میانی الوار بیشتر بود که می‌تواند به دلیل حرکت مواد استخراجی به سطح چوب باشد. حرکت مواد استخراجی مانند چربی‌ها و موم‌ها به سطح چوب بر اثر تیمار حرارتی می‌تواند عامل ثبات ابعاد و کاهش‌نم‌پذیری باشد (Rautkari et al., 2009). همچنین تیمار حرارتی باعث تغییرات شیمیایی در ساختار لیگنین و ایجاد حالت پلاستیکی شدن لیگنین می‌شود که همین مسئله باعث کاهش‌نم‌پذیری یا ترشوندگی سطحی

چوب می‌گردد (Hakkou et al., 2005). زاویه تماس بالاتر چوب تیمار حرارتی شده را می‌توان به تخریب همی‌سلولز همراه با بازآرایی ترکیبات لیگنوسلولزی چوب نیز نسبت داد (Gerardin et al., 2007; Hakkou et al., 2005). از دلایل دیگر کاهش‌نم‌پذیری سطح چوب طی فرایند تیمار حرارتی می‌توان به کریستالیت شدن سلولز اشاره کرد (Hakkou et al., 2005). تیمار حرارتی باعث کاهش گروه‌های هیدروکسیل دیواره سلولی چوب می‌گردد؛ به همین دلیل با کاهش میزان پیوندهای هیدروژنی بین الیاف، قطبیت چوب کاهش پیدا می‌کند (Ghafrani et al., 2016). البته کاهش انرژی آزاد سطحی چوب تیمار حرارتی شده در مقایسه با چوب شاهد می‌تواند به کاهش اجزای قطبی چوب نیز نسبت داده شود. انرژی آزاد سطحی در چوب از عوامل مؤثر بر خاصیت‌نم‌پذیری سطح است و کاهش آن، افزایش آبگریزی سطح را در پی دارد (Latibari et al., 2007). انرژی آزاد سطحی اجزای قطبی به‌طور قابل‌توجهی بالاتر از مؤلفه‌های غیرقطبی هستند. در تیمار حرارتی، گروه‌های قطبی چوب در اثر حرارت تخریب و از بین می‌روند (Stamm, 1959). در نتیجه نمونه‌های تیمار حرارتی شده قطبیت کمتری نسبت به نمونه‌های شاهد دارند که نتیجه آن کاهش‌نم‌پذیری سطح است (Candan و همکاران، ۲۰۱۲). با توجه به نتایج به‌دست‌آمده در این تحقیق، بعد از هوازدگی زاویه تماس نمونه‌های چوب تیمار حرارتی شده و شاهد افزایش یافت. Oberhofnerova و Panek (۲۰۱۶) اعلام کردند که زاویه تماس گونه‌هایی مانند لارچ، دوگلاس‌فر و صنوبر بعد از قرار گرفتن در معرض هوازدگی طبیعی به مدت ۳ ماه افزایش یافت که زاویه تماس گونه صنوبر در زمان شروع هوازدگی ۵۱ درجه بود که بعد از ۳ ماه، هوازدگی به ۶۱ درجه رسید. زاویه تماس قطره آب با توجه به نوع گونه و مدت زمان‌هایی که نمونه در معرض هوازدگی قرار می‌گیرد، متفاوت است. به‌طور کلی می‌توان گفت که تیمار حرارتی چوب تبریزی با کاهش روشنی رنگ و تغییر رنگ چوب به قهوه‌ای تیره، از نظر ظاهری زیباتر شد و افزایش زاویه تماس قطره آب، باعث

- Ehrhardt, J.J., 2007. Evolution of wood surface free energy after heat treatment. *Polymer Degradation and Stability*, 92:653-657.
- Ghafrani, M., Samadi, E. and Khojasteh Khosro, S., 2016. Heat treatment of wood and the investigation of its effect on surface wettability and adhesion strength of coating. *Iranian Journal of Wood and Paper Science Research*, 31 (2): 362-373.
- Hakkou, M., Ptrysans, M., Bakali, E.I., Gerardin, P. and Zoulalian, A., 2005. Investigation of wood wettability changes and mass loss during heat treatments of wood. *Holzforchung*, 59: 35-37.
- Jin, W., Singh, K., and Zondlo, J., 2013. Pyrolysis Kinetics of Physical Components of Wood and Wood-Polymers Using Isoconversion Method. *Agriculture Journal*, 3: 12-32.
- Karamanoglu, M. and Akildiz, M.H., 2013. Colour, Gloss and Hardness properties of heat Treated Wood Exposed to Accelerated Weathering. *Proligno*, 9(4): 729-738.
- Latibari, A., 2007. Science and technology of adhesion for lignocellulosic substances. *Daneshgah azad eslami, Karaj*, 348p.
- Morais, M.C. and Pereira, H., 2011. Variation of extractives content in heartwood and sapwood of *Eucalyptus globulus* trees. *Wood Science and Technology*. 46: 709-711.
- Nzokou, P., Kamdem, D.P. and Temiz, A., 2011. Effect of accelerated weathering on discolouration and roughness of finished ash wood surfaces in comparison with red oak and hard maple. *Progress in Organic Coating*, 71:350-354.
- Olarescu, C.M., Câmpăan, M. and Varodi, A., 2014. Colour and dimensional modifications of solid wood panels made from heat treated spruce wood after three months of outdoor exposure. *Pro Ligno*, 10(3):46-54.
- Oberhofnerova, E. and Panek, M., 2016. Surface Wetting of Selected Wood Species by Water During Initial Stages of Weathering. *Wood research*, 61 (4): 545-552.
- Rautkari, L., Properzi, M., Pichelin, F. and Hughes, M., 2009. Surface modification of wood using friction. *Wood Science and Technology*, 43:291-299.
- Stamm, A.J., 1959. Dimensional stabilisation of wood by thermal reactions and formaldehyde cross-linking. *Tappi*, 42(1): 39-44.
- Tarmian, A., Miri, S.M., Salehpour, Sh. and Mahmoudkia, M., 2014. *ThermoWood Handbook* (translation). Armandis, Tehran, 75p (In Persian).
- Turkoglu, T., Kabasakal, Y., Baysal, E., Gunduz, A., Kucuktevek, M., Bayraktar, D. K., Tokar, H. and Peker, H., 2017. Surface characteristics of heated and varnished oriental beech after accelerated کاهش‌نم‌پذیری سطحی نمونه‌های چوب گردید. در بررسی‌های انجام شده مشخص شد که افزایش سن درخت، باعث کاهش روشنی رنگ و نم‌پذیری سطح چوب گردید؛ افزایش ضخامت الوار تیمار حرارتی شده باعث کاهش روشنی رنگ شد و بیشترین زاویه تماس قطره آب در نمونه‌های تهیه شده از الوارهای تیمار حرارتی شده با ضخامت ۵ سانتی‌متر مشاهده گردید. همچنین نمونه‌های تهیه شده از سطح الوار تیمار حرارتی شده نسبت به عمق الوار، از زاویه تماس بیشتر و روشنی رنگ کمتر برخوردار بودند.
- سیاسگزاری  
از جناب آقای مهندس انصاری (شرکت مازند چوب آریا) به دلیل همکاری در انجام تیمار حرارتی و استفاده از کوره صنعتی و از جناب آقای مهندس فرضی و جناب آقای دکتر ثمری‌ها (شرکت ماسا سلولز) برای همکاری در تهیه چوب و انجام مقدمات و آماده‌سازی نمونه‌ها نهایت قدردانی را داریم.
- منابع مورد استفاده**
- Akhtari, M. and Arefkhani, M., 2010. Investigation effect of Weathering on Acetylated Beech Wood by FTIR Spectroscopy and Electron Microscopic. *Iranian Journal of Wood and Paper Science Research*, 25(1): 48-61.
- Boonstra, M.J., Van Acker, J., Tjeerdsma, B.F. and Kegel, E.V., 2007. Strength properties of thermally modified softwoods and its relation to polymeric structural wood constituents, *Ann. For. Sci.* 64: 679-690.
- Bakar, B.F.A., Hiziroglu, S.M.d. and Tahir, P., 2013. Properties of some thermally modified wood species. *Materials and Design, Elsevier J*, 43: 348-355.
- Baysal, E., Kart, S., Tokar, H. and Degirmentepe, S., 2014. Some physical characteristics of thermally treated Oriental beech wood. *Maderas Ciencia y Tecnologia*, 16(3): 291-298.
- Candan, Z., Buyuksari, U., Korkut, S., Unsal, O. and Cakicier, N., 2012. Wettability and surface roughness of thermally modified plywood panels. *Elsevier Journal*, 36 (1): 434-436.
- Esteves, B.M. and Pereira, H.M., 2009. Wood modification by heat treatment: a review, *Bioresources*, 4(1): 370-404.
- Gérardin, P., Petrič, M., Pétrissans, M., Lambert, J. and

-Ziglio<sup>1</sup>, A.C., Santos<sup>2</sup>, S.N.C., Mendes<sup>3</sup>, N. and Gonçalves<sup>4</sup>, D., 2017. Wettability and surface free energy on heat-treated Pinus sp. and Erisma sp. Woods. Sci. For Piracicaba, 113 (45): 161-167.

weathering. Wood research, 62 (6): 961-972.  
-Xing, D., Wang, S. and Li, J., 2015. Effect of Artificial Weathering on the Properties of Industrial-Scale Thermally Modified Wood. BioResources, 10(4): 8238-8252.

## Effect of tree age, thickness and depth of black poplar timbers on color change and wettability of wood after accelerated weathering

S. Hassani<sup>1</sup>, M. Talaeipour<sup>2\*</sup>, B. Bazyar<sup>3</sup>, A.H. Hemmasi<sup>4</sup>, and S. Mahdavi<sup>5</sup>

1-Ph.D. in Department of Wood and Paper Science, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

2\*-Corresponding author, Associate Professor, Department of Wood and Paper Science, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran, Email: m.talaeipour@srbiau.ac.ir

3-Assistant Professor, Department of Wood and Paper Science, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

4-Professor, Department of Wood and Paper Science, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

5-Associate Professor, Wood and Forest Products Division, Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO) Tehran, Iran

Received: Sep., 2022

Accepted: Dec., 2022

### Abstract

In this study, black poplar (*Populus nigra*) wood from Zanjan province was used in two age groups of 18 and 38- years old. Timbers with thicknesses of 4, 5 and 6 cm were prepared from each age group. The prepared timbers were modified during the heat treatment process (Thermowood) at a constant temperature of 212 °C. Experimental samples were cut from the surface and middle depth of heat-treated timbers. Heat-treated and control wood samples were subjected to accelerated weathering for 150 hours. Color lightness ( $L^*$ ), color difference ( $\Delta E^*$ ) and water droplet contact angle were measured for heat-treated and control samples before and after weathering. In order to investigate the wettability, the contact angle of the static water drop - was measured according to the ASTM D 5946 procedure. In general, before weathering, the brightness of the heat-treated samples decreased compared to the control sample, but after weathering, the lightness of the control samples decreased and the lightness of the heat-treated samples increased. Also, the value of color difference of samples after weathering compared to before weathering showed a significant decrease statistically. Heat treatment increased the contact angle of water droplets of the samples by 60.31% and the contact angle of water droplets of the heat-treated and control samples increased significantly after weathering compared to before weathering.

**Keywords:** Black poplar wood, Color changes, Color lightness, Contact angle, Heat treatment.