بررسی خواص فیزیکی، مکانیکی و دوام‌طبیعی چوب ممرز اصلاح‌شده با تیمارگرمابی
(مطالعه موردی در جنگل خیرودکنار شهرستان نوشهر) *

عبدالله حسین‌زاده[1]، مسعود چوبداری عمران[2]، وحید تذکررضایی[3]

تاریخ دریافت: 90/7/5 تاریخ پذیرش: 91/11/19

چکیده

هدف از این مطالعه بررسی اثر سه سطح دما و دو سطح زمان در تیمارگرمابی بر خواص فیزیکی، مکانیکی و دوام‌طبیعی چوب گونه ممرز در برابر قارچ رنگین‌کمان بوده‌است. بدین منظور نمونه‌های آزمونی تهیه شده و مورد تیمارگرمایی قرارگرفتند. جرم‌ویژه‌خشک، واکشیدگی و اثرضدواکشیدگی از خواص فیزیکی؛ سختی در سطح مماسی و مقاومت‌به‌ضربه از خواص مکانیکی و مقدار کاهش وزن، خسارت‌ظاهری و پوشش‌سطح توسط قارچ به‌عنوان شاخص دوام‌طبیعی روی نمونه-های تیمارشده اندازه‌گیری و به‌لحاظ آماری با نمونه‌های شاهد مقایسه شد. نتایج نشان‌داد که اعمال تیمارگرمابی سبب کاهش دانسیته‌خشک و تیره‌شدن رنگ، کاهش واکشیدگی در جهت‌های مماسی، شعاعی و کلی(حجمی) نمونه‌های چوب ممرز می-شود. افزایش دما و زمان تیمار سبب افزایش اثرضدواکشیدگی در جهت‌ها و حالت کلی در چوب شد. همچنین نتایج نشان‌داد که به‌طورکلی تیمارگرمایی سبب کاهش میزان‌سختی و افزایش دما و زمان در آن باعث افزایش افت‌سختی چوب ممرز می-گردد. در مورد مقاومت‌به‌ضربه نیز اعمال تیمارگرمایی با شرایط سخت‌تر، باعث کاهش مقاومت‌به‌ضربه شد. نتایج مجاورت آزمایشگاهی نمونه‌های چوب ممرز تیمارشده و شاهد با قارچ رنگین‌کمان، نشان‌داد که تیمارگرمابی تا حدودی سبب اصلاح دوام طبیعی چوب می‌شود. بااین‌وجود بررسی درصد پوشش قارچ روی نمونه‌ها و نیز معیار تعیین میزان خسارت ظاهری نشان‌داد که نمونه‌های تیمارگرمابی‌شده با شرایط این پژوهش را تنها می‌توان جزو چوب‌های کم‌دوام به‌حساب آورد.

واژه‌های کلیدی: تیمارگرمابی، گونه ممرز، خواص فیزیکی، اثرضدواکشیدگی، خواص مکانیکی، قارچ رنگین‌کمان

---

* مستخرج از طرح پژوهشی مصوب دانشگاه آزاداسلامی واحد چالوس

2- استادیار دانشگاه آزاداسلامی واحد چالوس، نویسنده مسوول **E-mail: abdollah279@ yahoo.com**

3- کارشناس ارشد در رشته علوم و صنایع چوب و کاغذ فارغ‌التحصیل از دانشگاه آزاد اسلامی واحد چالوس

4- استادیار دانشگاه آزاداسلامی واحد چالوس

مقدمه

چوب به‌سبب دامنه وسیع ویژگی‌های جذاب و منحصربه‌فرد خود ازقبیل جرم‌ویژه و انبساط‌گرمایی پایین و مقاومت‌های به حدکافی بالا، جایگاه ویژه خود را از بین مواد و مصالح ساختمانی حفظ کرده‌است [7]. این ماده علی‌رغم مزایایی که دارد، از معایبی مانند ناپایداری ابعاد در برابر رطوبت، تخریب توسط عوامل بیولوژیک، و تأثیرپذیری از اشعه ماورای بنفش نیز برخوردار است که کاربرد آن را محدودتر می‌نماید. برای بهبود این خواص از شیوه‌های متعددی مانند اصلاح با مواد شیمیایی و حفاظتی، پوشاندن چوب، استفاده از مواد جذب‌کننده اشعه ماورای بنفش و بسیاری روش‌های دیگر استفاده می‌شود [4، 17 و 20].

علی‌رغم آثار مثبت این روش‌ها و مواد، در سال‌های اخیر، به‌خصوص در کشورهای توسعه-یافته، بسیاری از این شیوه‌ها به دلیل آلایندگی، محدود، ممنوع و یا حذف‌شده‌اند. بدین سبب گرایش به سوی روش‌هایی است که به کمک آن‌ها بتوان چوب را بدون ایجاد آثاری زیانبار بر طبیعت، تیمار کرد [15]. ازاین‌رو دانشمندان در راستای نیل به افزایش دوام‌طبیعی و بهینه‌سازی شرایط مصرف چوب‌های کم‌دوام (مانند ممرز)، تیمارهای حفاظتی ـ اصلاحی مختلفی را به‌کار گرفته‌اند که از بین این روش‌های اصلاح چوب[1]، تیمارگرمایی[2] به‌علت نداشتن آلودگی زیست-محیطی و داشتن اثرات مطلوب بر خواص و دوام چوب، مورد توجه واقع شده‌است. تیمار گرمایی (حرارتی) چوب از سال 1920 مورد مطالعه قرار گرفته‌است و امروزه در مقیاس صنعتی در بسیاری از کشورهای توسعه یافته مانند فنلاند، سوئد و آلمان برای اصلاح خواص چوب به‌کار می‌رود [23]. این نوع تیمار به‌عنوان روشی کارا در اصلاح مقاومت چوب به رطوبت، اصلاح ثبات ابعاد و مقاومت‌به پوسیدگی و هوازدگی و افزایش ویژگی عایق‌حرارتی چوب توسعه پیدا کرده و چوب تیمارشده به‌عنوان یک جایگزین اکولوژیک برای موادچوبی آغشته‌به مواد شیمیایی حفاظتی مدنظر بوده و می‌تواند در مصارفی مانند مبلمان-باغی، آشپزخانه و سونا، کف و سقف‌سازی اتاق-ها، در و پنجره‌سازی و تجهیزات و آلات‌موسیقی به‌کار رود [22 و23]. علی‌رغم این اثرات مطلوب، تیمارگرمایی گاهی می‌تواند سبب تیرگی نامطلوب رنگ چوب و کاهش برخی مقاومت-های چوب در اثر تغییر در ریزساختار چوب گردد [19]. شایان ذکر است که شدت تغییر در ویژگی‌های چوب درطی تیمارگرمایی به عواملی مثل روش تیمارگرمایی، گونه‌چوبی و ویژگی‌های خاص آن، رطوبت اولیه چوب، شرایط محیطی تیمار و زمان و دمای تیمار بستگی دارد [23]. پژوهشگران علاقه‌مند به اصلاح خواص چوب و به‌ویژه تیمارگرمایی ضمن تاکید بر این‌که اثرات مثبت و منفی تیمارگرمایی می‌تواند بر گونه‌های مختلف سوزنی‌برگ و پهن‌برگ متفاوت باشد، در پی آنند که برای چوب هرگونه‌ای از راه مطالعات آزمایشگاهی، شرایط بهینه اعمال چنین تیمارهایی را تعیین نمایند [22].

سانتوز[3](2000) در یک مطالعه به‌بررسی رفتار مکانیکی چوب اصلاح‌شده اکالیپتوس با تیمارگرمایی پرداخت. وی نتیجه گرفت که انجام تیمارگرمایی در دمای $180\ ^{o}C$ به‌مدت سه‌ساعت باعث کاهش 26درصدی مقاومت‌کششی عرضی چوب می‌شود و این تیمار درعین‌حال سبب ایجاد 24 درصد اثر ضدواکشیدگی به‌عنوان شاخصی از

[1]. Wood modification
[2]. Thermal treatment
[3]. Santos

ثبات ابعاد می‌گردد. در این بررسی علت اصلاح ثبات ابعاد، تخریب شیمیایی برخی ترکیبات چوب قید شد که به‌طور هم‌زمان سبب تردشدن و کاهش مقاومت‌های چوب می‌شود [18]. یلدیز و همکارانش[1] (2002 و 2004) در تحقیقاتی اثر تیمارگرمایی در دماهای 130، 150 و 180°c را درطی زمان‌های 2، 6 و 10 ساعت در فشار اتمسفر بر سختی و مدول‌الاستیسیته خمشی چوب راش مورد بررسی قراردادند. نتایج نشان‌داد که باافزایش دما و زمان تیمارگرمایی از مقدار سختی چوب کم می‌شود. آنها همچنین اظهار داشتند که بسته‌به شدت و شرایط تیمارگرمایی، افزایش دما و زمان گرمادهی باعث کاهش مدول-الاستیسیته چوب می‌شود[22 و23]. ویتانن و همکارانش[2] (1994) در یک بررسی روی چوب سوزنی‌برگ نوئل بیان‌داشتند که تیمارگرمایی چوب در دمای بالاتر از 150°c ترکیبات‌شیمیایی و ریزساختار چوب را تغییر می‌دهد که این امر منجربه اصلاح پایداری ابعاد، کاهش رطوبت تعادل، افزایش دوام در برابر مخرب‌های زیستی (به‌دلیل کاهش رطوبت‌تعادل)، تیرگی‌رنگ و کاهش برخی مقاومت‌های چوب می‌گردد. اثرات نامطلوب این نوع تیمار یعنی کاهش خواص مقاومتی و تیرگی‌رنگ از عوامل محدود کننده سطح دما و زمان معرفی شدند[19]. هاکو و همکارانش[3] (2005) به مطالعه تغییر قابلیت رطوبت‌پذیری چوب تیمارگرمایی شده برپایه آنالیز شیمیایی پرداختند. نتایج این بررسی حاکی از این بود که تیمارگرمایی چوب در محدوده حرارتی بین 130 تا 160 °c در حضور گاز بی‌اثر نیتروژن اندکی سبب آب‌گریزشدن این ماده می-شود. آنها معتقدبودند که برای اصلاح خواص آب‌دوستی چوب، به‌کارگیری حرارت‌های بالا الزامی نیست و حرارت‌های پایین‌تر نیز منجربه نیل به این هدف می‌شود[15]. کامدم[4] (1999) در بررسی دوام‌طبیعی چوب کاج تیمارگرمایی شده در دامنه‌حرارتی 20 تا 260 °c و زمان 1 تا 24 ساعت نتیجه گرفت که تیمارگرمایی به‌ویژه در دماهای بالاتر سبب افزایش مقاومت به‌پوسیدگی چوب می‌شود اما این امر به‌قیمت کاهش مقاومت‌خمشی می‌انجامد. تیمارگرمایی سبب افزایش میزان لیگنین و کاهش عدداسیدی شد که این امر از دیدگاه پژوهشگر نمایانگر تخریب برخی ترکیبات شیمیایی چوب ازجمله همی-سلولز و مواداستخراجی بوده‌است. تغییرات اخیر سبب کاهش میزان جذب آب چوب نیز گردید[16]. بختا و نیمز[5] (2003) در پژوهشی دریافتند که این تیمار حرارتی سبب تیره‌ترشدن بافت چوب، اصلاح ثبات‌ابعاد و کاهش خواص مکانیکی چوب نوئل می‌شود. افزایش دما در بالای 200 °c باعث تسریع تیرگی رنگ چوب می‌گردد و این تیرگی عمدتا در 4 ساعت نخست تیمار رخ می‌دهد. دردمای بالا یعنی 200 °c، چوب به‌طور متوسط دستخوش حدود 44 تا 50 درصد کاهش مقاومت‌خمشی و 4 تا 9 درصد کاهش مدول‌الاستیسیته می‌شود[7]. رپ و همکارانش[6] (2004) ویژگی‌های چوب تیمارگرمایی شده تحت خلاء را مورد بررسی قرار دادند. درشرایط بهینه تیمار که دماهای 190 تا 210 °c معرفی شد، مقاومت دربرابر پوسیدگی قارچی به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای افزایش یافت و ثبات‌ابعاد چوب تا 48 درصد فزونی یافت؛

[1].Yildiz & et. al.
[2]. Viitanen & et. al.
[3]. Hakkou & et. al.
[4].Kamdem & et.al.
[5].Bekhta & Niemz
[6]. Rep & et. al.

درحالی‌که مدول‌الاستیسیته و مقاومت‌خمشی چوب به‌ترتیب 20 و 53 درصد کاهش نشان‌داد [17]. بنگتسون و همکارانش[1] (2002) در مطالعه‌ای روی خواص چوب‌های نوئل و کاج بیان‌داشتند که تیمارگرمایی در یک اتاقک بخار به‌مدت 5 ساعت و در دمای 220 ^{o}c می‌تواند سبب تنزل مقاومت‌خمشی چوب تا 50 درصد و مدول‌الاستیسیته آنها تنها تا 3/5 درصد گردد. آنها اذعان داشتند که تیمارگرمایی باعث می‌شود تا دانسیته‌خشک تقریبا 7/5 درصد کاهش یابد[8]. بریشکه و رپ[2] (2004) در یک پژوهش به‌بررسی سازگاری دو گونه سوزنی‌برگ سیلورفر و نوئل نروژی برای تیمارگرمایی با روغن در دماهای 180 و 220^{o}c به‌مدت 4 ساعت پرداختند. علی‌رغم وجود برخی تفاوت‌ها از لحاظ اثرگذاری تیمارگرمایی بر خواص مختلف چوب این گونه‌ها، نتایج در مجموع نشان‌داد که تیمارگرمایی سبب کاهش مقاومت به‌ساییدگی تا حد 50 درصد و مقاومت به‌ضربه 25 تا 36 درصد می‌گردد. واکشیدگی حداکثر همه نمونه‌های تیمارشده کاهش یافت و ضریب عکس‌واکشیدگی حدود 60 درصد پس‌از تیمار^{o}c 220 برای هردوگونه حاصل شد[9]. وستین و همکارانش[3] (2004) مقاومت دربرابر پوسیدگی کاج اصلاح‌شده با 9 روش مختلف (ازجمله تیمارگرمایی) را مورد بررسی قراردادند. آنها دریافتند که ازبین روش‌های مختلف، تنها روش‌های اصلاح استیلیشن، فورفوریلیشن و تیمار با رزین ملامین‌متیله‌شده (MMf) دارای اثرات قارچ‌گریزانی هم‌تراز با حفاظت با CCA می‌باشند [20]. گندوزا و آیدمیرا[4] (2009) در مطالعه‌ای اثر تیمارگرمایی چوب ممرز را بر برخی خواص فیزیکی آن بررسی کردند. نتایج نشان‌داد که با افزایش میزان دما و زمان تیمار، دانسیته‌خشک و هواخشک و رطوبت‌تعادل چوب کاهش می‌یابد و رنگ چوب تیره می‌شود. اثر دما در مقایسه با مدت‌تیمار بر تغییر رنگ‌چوب ممرز بیشتر بود. این تغییررنگ، مثبت ارزیابی شده و چوب حاصل برای مصارف دکوراتیو و به‌لحاظ کاهش رطوبت‌تعادل برای مصرف در سونا و لبه‌های استخرها پیشنهاد شد [14].

مطالعات متعددی روی تیمارگرمایی چوب گونه‌های داخلی ازجمله راش و توت صورت گرفته‌است که در این بررسی‌ها اثر دماهای 100 تا 200 ^{o}c در زمان‌های مختلف بر ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی چوب مورد ارزیابی واقع شده‌اند[1، 2، 3 و 5]. نتایج این بررسی‌ها به‌طور تقریبا مشابهی با یکدیگر و یافته‌های پیشین بیانگر کاهش دانسیته‌خشک، جذب آب و واکشیدگی چوب و بروز اثر ضدواکشیدگی به‌معنای بالارفتن پایداری ابعاد چوب در اثر تیمارگرمایی بوده‌است. درحالی‌که این تیمارها سبب کاهش خواص مکانیکی چوب شدند.

دهمرده و ناظریان (2011) نیز به مطالعه خواص فیزیکی و مکانیکی چوب ممرز ایران تیمارگرمایی شده پرداختند و پی‌بردند که باافزایش دمای تیمار و زمان آن دانسیته و واکشیدگی چوب کاهش می‌یابد؛ ضمن این‌که مقاومت‌های فشاری، خمشی، برشی و سختی درسطح مماسی چوب ممرز نیز به‌ترتیب حدود 43، 22، 22 و 30 درصد در تیمار در دمای 190 و مدت 9 ساعت کاهش یافت[10].

چوب گونه ممرز به‌سبب تغییر ابعاد رطوبتی بالا و فسادپذیری در برابر عوامل مخرب بیولوژیک به‌ویژه قارچ ها، کم‌دوام بوده و چندان

[1]. Bengtsson & et. al.
[2].Brischke & Rapp
[3]. Westin & et. al.
[4]. Gunduza & Aydemira

موردتوجه صنایع مصرف‌کننده چوب صنعتی واقع نشده‌است. با یادآوری این‌که مهم‌ترین قارچ مخرب چوب ممرز در محیط‌های مصرف داخلی، قارچ رنگین‌کمان می‌باشد؛ چگونگی تخریب قارچی، مطالعه ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی چوب ممرز، قبل و بعداز تیمار گرمایی نیز، به‌لحاظ کاربردی حایز اهمیت است. لذا هدف‌از این مطالعه بررسی اثر سطح دما (کم تا متوسط یعنی زیر ^{o}c 200) و زمان (کوتاه مدت یعنی کمتر از 3 ساعت) در تیمار آب- گرمایی بر خواص فیزیکی، مکانیکی و دوام‌طبیعی چوب گونه ممرز بوده‌است.

مواد و روش‌ها

۱.تهیه نمونه‌های آزمونی

انتخاب درخت

سه اصله درخت سالم ممرز به‌قطر 50 تا 60 سانتی‌متر از جامعه گیاهی راشستان مخلوط جنگل آموزشی پژوهشی دانشکده منابع طبیعی تهران واقع در منطقه خیرود کنار نوشهر (شیب 30 درجه جنوبی سری نم‌خانه) انتخاب شدند.

برش و آماده‌سازی نمونه‌ها

از ارتفاع برابر سینه درختان انتخابی، قطعاتی به‌طول 20تا 30 ساتی‌متر تهیه شد. این قطعات پس‌از حمل به آزمایشگاه صنایع‌چوب مورد برش واقع شده و نمونه‌های آزمایشی با ابعاد 3/5×6×20 سانتی‌متر (طولی، مماسی، شعاعی) از آن تهیه شدند. به‌منظور رسیدن به رطوبت‌تعادل مناسب (در این بررسی 12 تا 14 درصد) نمونه‌ها به‌مدت دوهفته در شرایط آزمایشگاهی با حرارت 25 درجه سانتی‌گراد و رطوبت‌نسبی 65 درصد قرار گرفتند. برای انجام آزمون‌های فیزیکی نمونه‌هایی به ابعاد 2×2×2 cm (طولی، مماسی، شعاعی؛ مطابق استاندارد: ASTM-D143)، آزمون سختی نمونه‌هایی به‌ابعاد 1/5×2/5×5 cm (طولی، مماسی، شعاعی؛ مطابق استاندارد: DIN EN113) و آزمون ضربه نمونه‌هایی به‌ابعاد 1×1×7 cm (طولی، مماسی، شعاعی؛ مطابق استاندارد: ASTM-D256) تهیه شدند.

۲. تیمار گرمابی

نمونه‌های تهیه‌شده بااستفاده‌از یک دایجستر آزمایشگاهی و براساس تیمارهای ازپیش تعیین‌شده (جدول 1) مورد تیمارگرمابی قرار گرفتند. یک‌سوم از حجم دایجستر را آب‌مقطر و مابقی آنرا هوا فرا گرفته‌بود. نمونه‌ها پس از خارج‌شدن از دایجستر در داخل خشک‌کن آزمایشگاهی قرار گرفتند و پس‌از خشک‌شدن، ابعاد و وزن آن‌ها اندازه‌گیری شد.

جدول1- شرایط تیمار گرمابی نمونه‌های آزمونی

شماره تیمار	دما (سانتی‌گراد)	زمان (ساعت)	علامت
1	120	0/5	120-0/5
2	120	2	120-2
3	150	0/5	150-0/5
4	150	2	150-2
5	180	0/5	180-0/5
6	180	2	180-2
شاهد	-	-	شاهد

3. اندازه‌گیری ویژگی‌های فیزیکی

برای اندازه‌گیری خواص فیزیکی نمونه‌ها به‌صورت زیر عمل شد.

محاسبه جرم ویژه خشک

برای محاسبه جرم‌ویژه خشک نمونه‌های چوبی از رابطه زیر استفاده شد.

$$SG_0 = \frac{W_0}{V_0} \left(gr/cm^3\right)$$

که در آن W_0 وزن خشک نمونه‌ها و V_0 حجم-خشک نمونه‌ها را نشان می‌دهد.

محاسبه واکشیدگی و اثر ضدواکشیدگی

برای محاسبه مقدار واکشیدگی و اثر ضدواکشیدگی از رابطه‌های زیر استفاده شد.

$$\alpha_{(t,r,v)\ (\%)} = \frac{d_{s(t,r,v)} - d_{0(t,r,v)}}{d_{0(t,r,v)}} * 100$$

$\alpha_{(t,r,v)\ (\%)}$: درصد واکشیدگی چوب در جهت‌های مماسی، شعاعی یا کلی

$d_{s(t,r,v)}$: اندازه بعد یا حجم نمونه پس از غوطه‌وری

$d_{0(t,r,v)}$: اندازه بعد یا حجم نمونه کاملاً خشک

$$ASE_{(t,r,v)}\ (\%) = \frac{a_{c(t,r,v)} - a_{h(t,r,v)}}{a_{h(t,r,v)}} * 100$$

$ASE_{(t,r,v)}$: اثرضدواکشیدگی در جهت‌های مماسی، شعاعی یا کلی

$a_{c(t,r,v)}$: متوسط واکشیدگی در جهت‌های مماسی، شعاعی یا کلی نمونه‌های کنترل

$a_{h(t,r,v)}$: متوسط واکشیدگی در جهت‌های مماسی، شعاعی یا کلی نمونه‌های تیمار شده

٤. اندازه‌گیری ویژگی‌های مکانیکی

آزمون سختی چوب

برای اندازه‌گیری سختی نمونه‌های آزمونی شاهد و تیمارشده از دستگاه Instron 1186 استفاده‌شد. سرعت واردشدن ساچمه به نمونه، 5 میلی‌متر در دقیقه بود. نیروی ساچمه عمود بر سطح مماسی نمونه‌ها وارد شد.

آزمون مقاومت‌به ضربه چوب

برای اندازه‌گیری میزان مقاومت به‌ضربه نمونه‌ها از دستگاه Instron wolpert pw5 استفاده شد. طبق استاندارد مورد نظر و به‌کمک روش Izod، مقاومت‌به ضربه آن‌ها بر حسب ژول‌برمتر اندازه‌گیری شدند. نمونه‌ها به‌صورت ایستاده در داخل نگهدارنده‌ها تثبیت شده و چکش 11 ژولی به نمونه و روی سطح مماسی برخورد نمود.

۵. اندازه‌گیری دوام چوب در برابر قارچ رنگین کمان (DIN EN 113)

چگونگی تکثیر قارچ رنگین‌کمان (*Coriolus versicolor*)

میسیلیوم قارچ خالص‌شده رنگین‌کمان (مولد پوسیدگی سفید) تهیه و طبق روش Kolleschale تکثیر شدند.

مجاورت قارچ و چوب در ظروف کوله (Kolle)

برای مجاورت نمونه‌های چوبی با قارچ خالص-شده رنگین‌کمان *(Coriolus versicolor)* تعداد 30 عدد ظرف شیشه‌ای کوله تهیه‌شد و داخل هرکدام مقداری از محیط‌کشت ریخته‌شده و سپس این ظروف در اتوکلاو مرطوب استریل شده و در اتاقک کشت میسیلیوم‌های تکثیرشده قارچ به‌داخل آنها منتقل شدند. در ادامه آنها به-مدت یک هفته در انکوباتور با دمای $25\ ^oc$ و رطوبت نسبی 75% نگهداری شدند تا میسیلیوم قارچ، تمام سطح محیط‌کشت را بپوشاند. نمونه‌های چوبی نیز پس‌از استریل‌شدن در اتوکلاو، روی پایک‌های شیشه‌ای داخل ظروف

کوله قرار گرفتند و به‌داخل اتاقک کشت منتقل و به‌مدت 14 هفته در داخل آن نگهداری شدند.

روش بررسی نمونه‌های چوبی

نمونه‌های چوبی از انکوباتور خارج شده، ابتدا پوشش میسیلیوم‌ها روی نمونه‌های چوبی اندازه-گیری و آنگاه میسیلیوم‌های قارچ ازروی آنها پاک شد و چگونگی اثر ناخن روی سطوح نمونه، طبق معیار ویلیتنر (Willeitner) ثبت گردید[21]. در ادامه نمونه‌های چوبی در داخل اتو به‌مدت 48 ساعت در دمای ^{o}c 5 ± 100 قرار گرفتند و سپس وزن خشک آنها محاسبه‌شد و باتوجه‌به وزن‌خشک قبل‌از کشت قارچ و به‌کمک رابطه زیر، کاهش جرم آنها محاسبه گردید. جهت طبقه-بندی دوام‌طبیعی نمونه‌های چوبی از روش فندلای[1] استفاده گردید [13].

$$\text{درصد کاهش جرم} = \left(\frac{\text{وزن خشک بعد از کشت} - \text{وزن خشک قبل از کشت}}{\text{وزن خشک قبل از کشت}} * 100\right)$$

۶. طرح و تجزیه و تحلیل آماری

داده‌های حاصل‌از آزمون‌های مختلف در قالب یک طرح آماری کاملا تصادفی مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. به این منظور از آزمون آنالیز واریانس یک‌طرفه (One Way Anova) در سطح 5% و جهت مقایسه میانگین‌ها نیز از آزمون چنددامنه دانکن (DMRT) استفاده‌شد.

نتایج

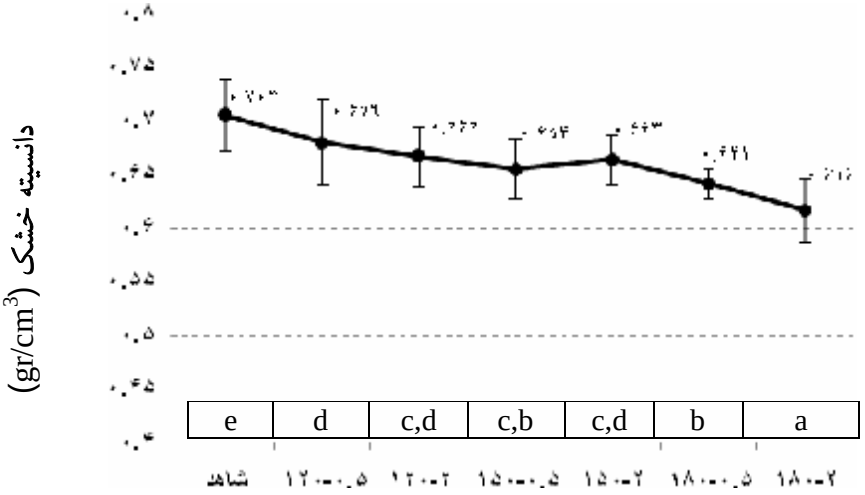
۱. ویژگی‌های فیزیکی

طبق نتایج تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها، اعمال تیمارهای مختلف گرمابی سبب کاهش معنی‌دار دانسیته خشک نمونه‌های چوب ممرز گردید (جدول 2) و در این رابطه کمترین دانسیته به نمونه‌های تیمارشده درشرایط دمای ^{0}c 180 و زمان 2 ساعت تعلق داشت. بنابراین یافته‌ها و درشرایط تیمار ذکرشده، نمونه‌های چوبی، 12/41% کاهش دانسیته نشان‌دادند. چگونگی کاهش دانسیته‌خشک و نیز درصدهای کاهش آن به‌همراه گروه‌بندی میانگین‌ها در تیمارهای مختلف به‌ترتیب در شکل‌های1 و 2 نشان‌داده شده‌است.

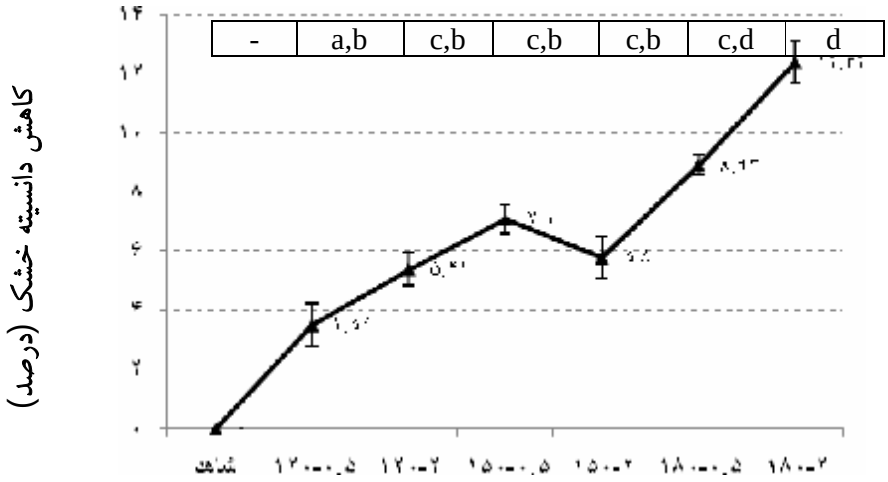
نتایج همچنین نشان‌داد که تیمارگرمابی نمونه‌های چوب ممرز به‌طور معنی‌داری سبب تغییر مقادیر واکشیدگی در جهت‌های مماسی و شعاعی و نیز واکشیدگی کلی نمونه‌ها می‌شود (جدول2). در این راستا توجه‌به مقادیر واکشیدگی مماسی و گروه‌بندی آنها نشان می‌دهد که بالاترین مقدار مربوط به نمونه‌های شاهد بوده و کمترین مقدار نیز به نمونه‌های تیمارشده در دمای ^{0}c 180تعلق داشته‌است (شکل3). به‌هرحال اعمال تیمارگرمابی درمجموع سبب کاهش واکشیدگی‌مماسی گردید.

بنابر نتایج، واکشیدگی چوب ممرز در جهت شعاعی و درحالت کلی(حجمی) نیز البته با کمی تفاوت در گروه‌بندی میانگین‌ها، روند تغییراتی مشابه با جهت‌مماسی داشته‌اند. به‌عبارت دیگر اعمال تیمارگرمابی و افزایش سطح‌گرما و زمان تیمار، به‌تدریج باعث کاهش میزان واکشیدگی در چوب شد (شکل3).

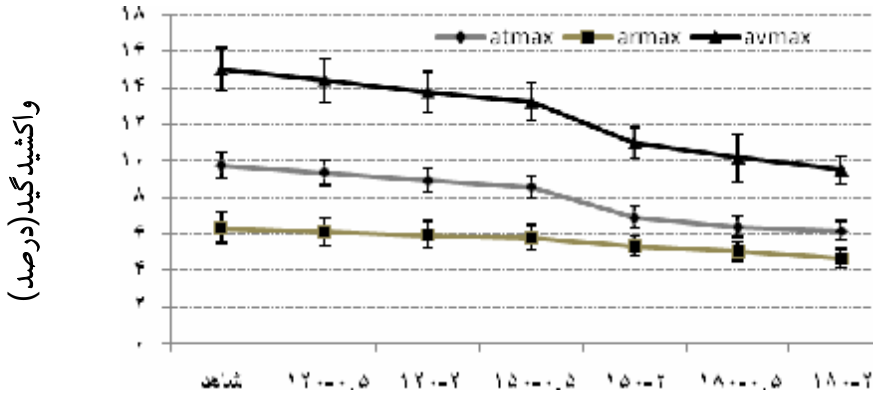
[1] Findly



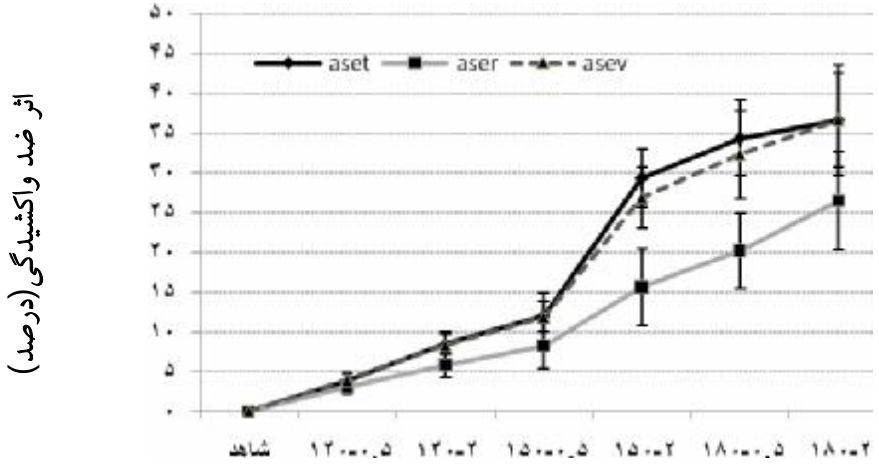
شکل1- اثر شرایط تیمارگرمابی بر دانسیته‌خشک چوب



شکل2- اثر شرایط تیمارگرمابی بر کاهش دانسیته‌خشک چوب



شکل3- اثر شرایط تیمارگرمابی بر مقدار واکشیدگی چوب



شکل4- اثر شرایط تیمارگرمابی بر مقدار ضرایب عکس واکشیدگی چوب

یافته‌ها همچنین نشان‌دادکه انجام تیمارگرمابی در مجموع باعث تغییر معنی‌دار اثرات ضدواکشیدگی در جهت‌ها و حجم چوب می‌شود (جدول2). چنان‌که در شکل 4 مشاهده می‌شود، افزایش دما و زمان (به‌ویژه در دمای 150و ^{0}c 180) تیمارگرمابی سبب افزایش اثرضدواکشیدگی در جهت‌ها و حالت‌کلی در چوب شده‌است. در ضمن تیمارگرمابی بر اثرضدواکشیدگی مماسی و حالت حجمی اثرگذاری بالاتری را به‌دنبال داشته و در دمای 150 و ^{0}c 180 از حدود 25 تا 36 درصد باعث کاهش واکشیدگی چوب گردیده‌است.

مقایسه رنگ‌ظاهری نمونه‌های تیمارشده و شاهد نیز نشان از این داشت که نه‌تنها تیمارگرمایی سبب تیرگی‌رنگ ظاهری نمونه‌ها می‌شود، بلکه افزایش سطح‌دما و زمان‌تیمار نیز بر شدت این تیرگی (از قهوه‌ای روشن تا قهوه‌ای شکلاتی) می‌افزاید.

جدول 2- نتایج تجزیه واریانس(ANOVA)اثر شرایط تیمار گرمایی بر خواص فیزیکی نمونه‌های چوبی

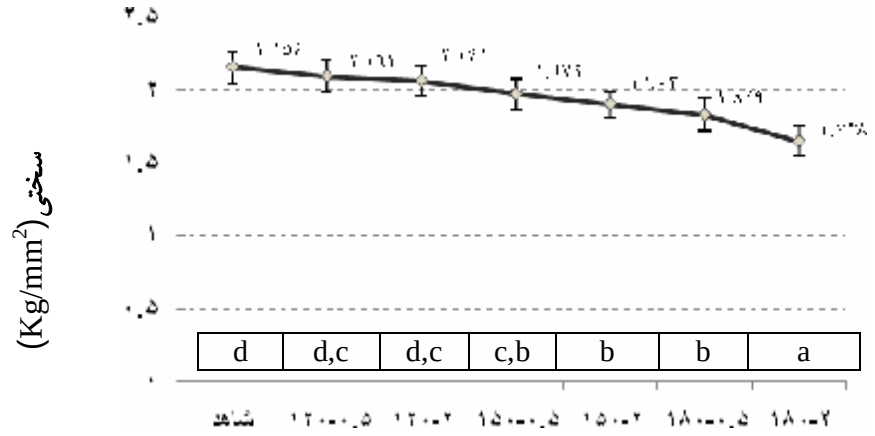
ویژگی‌ها	F	مقدار p
دانسیته خشک (D_0) (gr/cm^3)	17/662	**0/0003
کاهش D_0	9/115	**0/0001
واکشیدگی حداکثر مماسی (αt_{max}) (%)	97/061	**0/0004
اثرضد واکشیدگی مماسی(ase_t) (%)	255/4	**0/0001
واکشیدگی حداکثر شعاعی (αr_{max}) (%)	19/866	**0/0002
اثرضد واکشیدگی شعاعی(ase_r) (%)	497/1	**0/00051
واکشیدگی حداکثر حجمی (αv_{max}) (%)	255/432	**0/00011
اثرضد واکشیدگی حجمی (ase_v)(%)	497/132	**0/0002

**: معنی‌دار در سطح 0/01

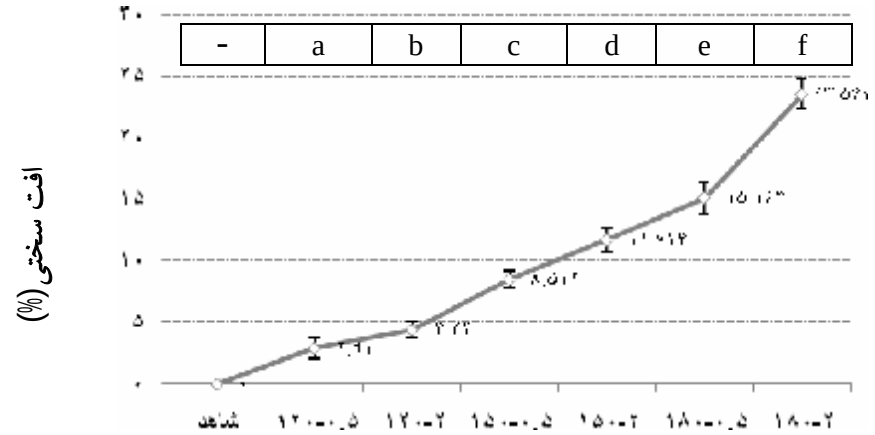
۲. ویژگی‌های مکانیکی

طبق نتایج حاصل‌از آنالیز واریانس (جدول3)، بین مقادیر میانگین سختی نمونه‌های تیمارگرمابی‌شده در مقایسه با شاهد (تیمارنشده) درمجموع تفاوت معنی‌دار مشاهده شده‌است. براساس گروه‌بندی میانگین‌ها بالاترین مقدار سختی به نمونه‌های شاهد و پایین‌ترین آن به نمونه‌های تیمارشده درشرایط دمای ^0c 180و زمان 2 ساعت مربوط بود. آن‌چه‌که در مجموع می‌توان مشاهده کرد این‌است‌که تیمارگرمابی سبب کاهش میزان سختی چوب ممرز گردیده-است (شکل5). درصدهای افت سختی چوب نیز در اثر تیمار گرمابی و روند تغییرات آن در شکل 6 نشان داده‌شده‌است. طبق این مشاهدات، افزایش دما و زمان در تیمارگرمابی سبب افزایش افت سختی چوب گردید و بالاترین درصد افت (23/56%) نیز در تیمار 180^0c، 2 ساعت مشاهده‌شد.

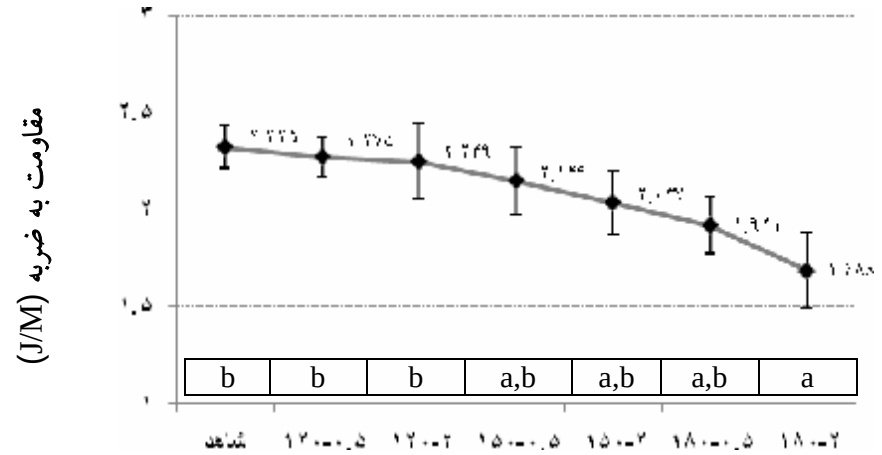
مطابق نتایج تجزیه‌واریانس، تفاوت میانگین‌های مقادیر مقاومت‌به‌ضربه نمونه‌های چوبی، پس‌از اعمال تیمارگرمایی در دما و زمان‌های مختلف در مقایسه کلی با نمونه‌های شاهد، معنی‌دار تشخیص داده‌شد (جدول3). میانگین و انحراف معیار مقاومت‌به‌ضربه نمونه‌های چوبی تیمارشده و شاهد به‌همراه گروه‌بندی میانگین‌ها روی شکل7 نشان‌داده شده‌است. بنابراین مشاهدات هرچند اعمال تیمارگرمایی با شرایط سخت‌تر باعث کاهش مقاومت‌به‌ضربه شده، اما مطابق گروه‌بندی، تنها تیمار 180^0c، 2 ساعت، کاهش کاملا متمایزی را نشان داده‌است.



شکل5- اثر شرایط تیمارگرمابی بر مقدار سختی چوب



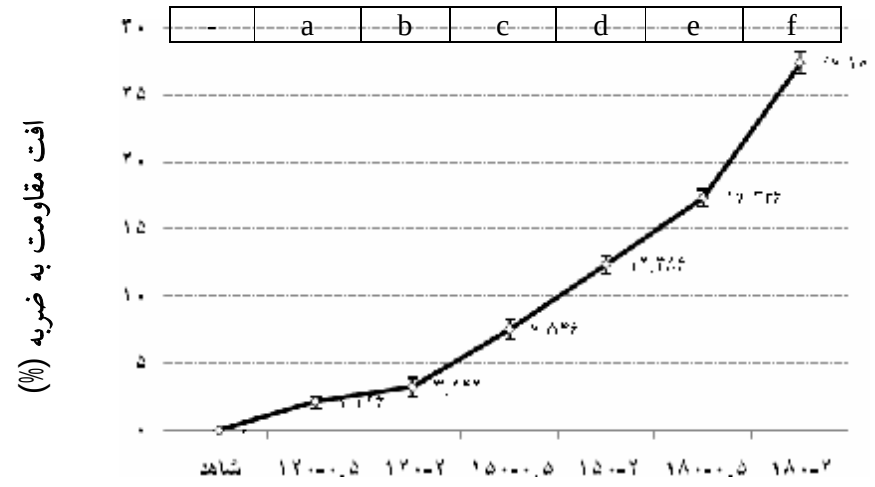
شکل6- اثر شرایط تیمارگرمابی بر افت سختی چوب



شکل7- اثر شرایط تیمارگرمابی بر مقاومت‌به‌ضربه چوب

بنابر تحلیل‌آماری پس‌از مشاهدات، انجام تیمارگرمایی سبب افت درصدی معنی‌داری در مقاومت‌به‌ضربه شد (جدول3) که این امر به‌صورت افزایش درصدی افت مقاومت‌به‌ضربه در اثر تیمارگرمابی در شکل 8 نشان داده‌شده‌است.

براین‌اساس با اعمال تیمارگرمابی ازشرایط 120^0c، 0/5 ساعت تا 180^0c، 2 ساعت ازمقدار مقاومت‌به‌ضربه نمونه‌های چوب ممرز بین حدود 2 تا 27 % در مقایسه با نمونه‌های شاهد کاسته‌شد.



شکل8- اثر شرایط تیمار گرمایی بر افت مقاومت به ضربه چوب

جدول 3- نتایج تجزیه واریانس(ANOVA) اثر شرایط تیمارگرمابی بر خواص مکانیکی نمونه‌های چوبی

ویژگی‌ها	F	مقدار p
سختی (Kg/mm^2)	12/995	**0/0012
افت مقدار سختی (%)	546/295	**0/0021
مقاومت به ضربه (J/M)	1/867	n.s0/122

**: معنی‌دار در سطح 0/01 ، n.s: معنی‌دار نیست

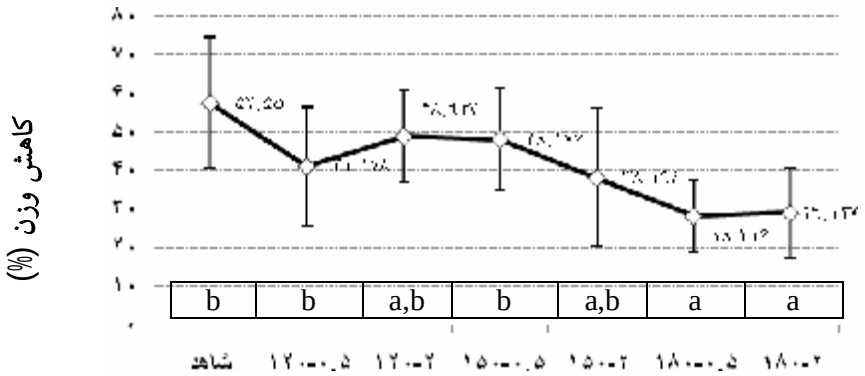
۳. دوام چوب در برابر قارچ رنگین‌کمان

درصد پوشش قارچ روی نمونه‌ها، مقدار درصدی کاهش وزن و معیار تعیین میزان خسارت ظاهری (ویلیتنیر) نمونه‌ها پس‌از مجاورت نمونه‌های شاهد و تیمارشده چوب ممرز با قارچ رنگین‌کمان به‌مدت 14 هفته در داخل انکوباتور، اندازه‌گیری شد.

جدول4- ارزیابی نمونه‌های چوبی پس از مجاورت با قارچ رنگین‌کمان

ویژگی‌ها	کد تیمار						
	120-0/5	120-2	150-0/5	150-2	180-0/5	180-2	شاهد
پوشش توسط قارچ (%)	100	98	100	100	98	98	100
معیار ویلیتنیر	4a و 2a	4a و 4b و 2b و 3b	4a و 4b و 2a و 3a	4a و 4b و 2b و 3b	4a و 4b و 2a و 3a	2a و 2b	4a و 4b

آنالیزواریانس اثر تیمارگرمابی بر مقدار درصدی کاهش وزن نمونه‌های چوبی نشان‌داد که میانگین‌های مربوط به‌طور معنی‌داری نسبت به‌هم متفاوتند (جدول5). روند تغییرات کاهش وزن نمونه‌های تیمارشده و شاهد در شکل9 نشان‌داده شده‌است. چنان‌که در این شکل ملاحظه می‌گردد درمجموع تیمارگرمابی سبب کاهش نقصان وزن در نمونه‌ها شد و بر اساس مقایسه میانگین‌ها می‌توان بیان‌نمودکه کمترین کاهش‌وزن به‌میزان حدود 28تا 29% در نمونه‌های تحت‌تیمار 180^0c، و بیشترین کاهش‌وزن به‌مقدار حدود 57/5% در نمونه‌های‌شاهد مشاهده‌گردید. دراین‌راستا و باتوجه‌به معیارهای ارزیابی جدول 4 نمونه‌های تیمارگرمابی‌شده باشرایط اخیر را می‌توان جزو چوب‌های کم‌دوام به‌حساب آورد.



شکل9- اثر شرایط تیمارگرمایی بر مقدار کاهش‌وزن چوب پس از مجاورت با قارچ

جدول 5- نتیجه تجزیه‌واریانس(ANOVA) اثر شرایط تیمارگرمابی بر کاهش‌وزن نمونه‌های چوبی پس از مجاورت با قارچ رنگین‌کمان

ویژگی‌ها	F	مقدار p
کاهش وزن(%)	3/099	*0/019

*: معنی‌دار در سطح 0/05

بحث و نتیجه‌گیری

در این مطالعه نمونه‌های آزمایشگاهی چوب ممرز تحت تیمارگرمابی در سه‌سطح دما و دوسطح زمان مختلف قرار گرفتند. برخی خواص فیزیکی مانند جرم‌ویژه‌خشک، واکشیدگی؛ و خواص مکانیکی مانند سختی و مقاومت به‌ضربه و نیز دوام طبیعی در برابر پوسیدگی سفید نمونه-های تیمارشده و تیمارنشده (شاهد) اندازه‌گیری شده و مورد بررسی قرار گرفت. طبق نتایج حاصل می‌توان موارد زیر را مطرح نمود.

۱. ویژگی‌های فیزیکی چوب تیمارشده

طبق نتایج، اعمال تیمارگرمابی سبب کاهش دانسیته‌خشک و تیره‌شدن رنگ نمونه‌های چوب ممرز گردید، به‌طوری‌که در شرایط دمای ^{0}c 180 و زمان 2 ساعت، نمونه‌ها 12/42% کاهش دانسیته و بیشترین تیرگی ظاهری را نشان‌دادند. نتایج همچنین نشان‌داد که اعمال تیمارگرمابی درمجموع سبب کاهش واکشیدگی در جهت‌های مماسی، شعاعی و درحالت‌کلی(حجمی) می‌شود و بالاترین مقدار مربوط‌به نمونه‌های شاهد بوده و کمترین مقدار نیز به نمونه‌های تیمارشده در دمای ^{0}c 180 تعلق داشت و اعمال تیمارگرمابی و افزایش سطح گرما و زمان‌تیمار، به‌تدریج باعث کاهش میزان واکشیدگی در چوب شد. یافته‌ها نشان‌دادکه افزایش دما و زمان‌تیمار سبب افزایش اثرضدواکشیدگی در جهت‌ها و حالت‌کلی در چوب می‌گردد.

عقیده‌بر این‌است‌که تیمارحرارتی باعث تخریب برخی از ترکیبات‌شیمیایی چوب می‌شود [16، 17، 19، 22]. همی‌سلولزها که آب‌دوست بوده و پایداری کمتری در برابر حرارت دارند به ترکیبات قندی و محلول در آب تجزیه شده و به-تدریج و از دیواره‌های سلولی شسته و خارج می‌شوند. خروج این مواد سبب کاهش دانسیته، رطوبت تعادل و تمایل به‌جذب آب و در نتیجه کاهش همکشیدگی و واکشیدگی و بروز اثرضدواکشیدگی در چوب می‌گردد[8، 9، 10 و 14]. این کاهش خواص هیگروسکوپیک در چوب که به کاهش گروه‌های هیدروکسیل (مکان‌های جذب آب)، اصلاح ساختارهای زیست‌بسپارهای چوب، کاهش آب باقی‌مانده در آنها و احتمال پلاستیکی‌شدن لیگنین نسبت داده-شده، منجربه افزایش ثبات‌ابعاد در این ماده می-گردد [15].

۲. ویژگی‌های مکانیکی چوب تیمارشده

نتایج آزمون‌های مکانیکی نشان‌داد که تیمارگرمایی درمجموع سبب کاهش میزان سختی چوب ممرز گردید و افزایش دما و زمان در تیمارگرمابی سبب افزایش افت سختی چوب شد. در آزمون ضربه نیز اعمال تیمارگرمایی باشرایط سخت‌تر باعث کاهش مقاومت‌به‌ضربه شد؛ و البته تیمار ^{0}c180، 2 ساعت، کاهش کاملا متمایزی را نشان‌داد. با تغییر شدت تیمارگرمابی از شرایط کمینه آزمایشات به شرایط بیشینه، از مقدار مقاومت‌به‌ضربه نمونه‌های چوب ممرز، بین حدود 2 تا 27 % در مقایسه با نمونه‌های شاهد، کاسته-شد.

چنان‌که پیش‌تر بیان شد، تیمارحرارتی سبب تخریب برخی اجزا و ترکیبات‌شیمیایی چوب مانند همی‌سلولزها می‌شود که از جرم‌ویژه چوب

می‌کاهد و وابستگی خواص مکانیکی چوب به جرم‌ویژه می‌تواند توجیهی محتمل برای تردشدن و کاهش مقاومت‌های چوب پس‌از تیمارگرمایی باشد [8، 16، 18و 22]. در ضمن نزدیک‌شدن سطح دما به حد دمای انتقال شیشه‌ای و نرم‌شدن بسپارهای چوب می‌تواند سبب الاستیک یا پلاستیکی‌شدن این ماده شده و از سفتی و سختی آن بکاهد [23].

۳. دوام چوب تیمارشده در مجاورت باقارچ رنگین‌کمان

مطابق نتایج مجاورت آزمایشگاهی نمونه‌های چوب ممرز تیمارنشده (شاهد) و تیمارشده با قارچ رنگین‌کمان، می‌توان بیان نمود که درمجموع تیمارگرمایی سبب اصلاح نسبی دوام‌طبیعی چوب گردید. بااین‌وجود بررسی درصد پوشش مسیلیوم قارچ روی نمونه‌ها و نیز معیار تعیین میزان خسارت‌ظاهری (ویلیتنیر) نمونه‌ها نشان‌دادکه نمونه‌های تیمارگرمایی‌شده در بازه دمای 120 تا 180 درجه سانتی‌گراد و زمان 0/5 تا 2 ساعت را می‌توان تنها جزو چوب‌های کم‌دوام به‌حساب آورد.

در رابطه با تیمارگرمایی گونه‌های مختلف چوبی اعم از سوزنی‌برگان و پهن‌برگان نظر براین است که گرمادهی به چوب در حضور رطوبت با ایجاد تغییر در ترکیبات‌شیمیایی چوب سبب افزایش مقاومت در برابر میکروارگانیسم‌ها می‌گردد. البته سطح بالای دما (بالای 200 درجه سانتی‌گراد) و مدت زمان گرمادهی (3ساعت یا بیشتر) به‌همراه عدم حضور اکسیژن از شروط اصلی و لازم برای ایفای نقش اصلاح دوام‌طبیعی تیمارگرمایی بیان شده‌است. در چنین شرایطی همی‌سلولزهای (به‌ویژه پنتوزان‌ها) چوب تخریب‌شده و از میزان گروه‌های هیدروکسیل چوب تا حد 50% کاسته می‌شود [8 و 9]. در نتیجه دیواره‌های سلولی چوب آب کمتری جذب می‌کنند و رطوبت تعادل کاهش می‌یابد. شایان‌ذکراست‌که تیمارگرمایی با شرایط متوسط (بازه دمایی 120 تا 180 الی 200 درجه سانتی‌گراد) تنها می‌تواند اندکی دوام‌طبیعی چوب مانند مقاومت در برابر پوسیدگی‌قارچی را اصلاح نماید [10].

درمجموع می‌توان گفت که تیمارگرمایی چوب ممرز به‌مدت 2 ساعت در دمای $180\ ^{0}c$ بالاترین پایداری ابعاد و پایین‌ترین خواص مقاومتی را به‌همراه تیرگی نسبتا زیاد رنگ چوب، به‌دنبال داشته‌است.

منابع

1- ایل‌بیگی، فیروز و بهبود محبی. 1386. تیمار الیاف صنعتی بر ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی تخته فیبر با دانسیته متوسط (MDF). چکیده پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشکده منابع طبیعی تربیت مدرس نور.

2- ثنایی، ابراهیم و بهبود محبی . 1383. اثر تیمار آب- گرمایی روی ویژگی‌های فیزیکی چوب راش. پژوهشنامه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خزر. سال دوم شماره دوم. ص 1-11

3- رضایتی چرانی و همکاران، 1386. اثر تیمار آب- گرمایی برروی ثبات ابعاد چوب راش. مجله علوم طبیعی خزر. ص 125-130

4- محبی، بهبود. 1382.اصلاح چوب ومواد لینگو سلولزی و فناوری‌هایشان.اولین همایش ملی فراوری مواد سلولزی. 10-9 مهرماه: دانشگاه تهران. رضوان شهر

5- یعقوبی، کامران ، بهبود محبی و مهران روح‌نیا. 1386. اثر تیمار آب- گرمایی روی ویژگی‌های آکوستیک چوب توت. سومین کنفرانس اروپایی اصلاح چوب. ص 1-8.

6- ASTM D, 1992. Testing small clear timber specimens, ASTM standards, pp. 90.

7- Bekhta, P. and Niemz, P. 2003. Effect of high temperature on the change in color, dimensional stability and mechanical properties of spruce wood, Holzforschung / Vol. 57 / 2003 / No. 5, p: 539–546.

8- Bengtsson, C., Jermer, J. and Brem, F. 2002. Bending strength of heat-treated spruce and pine timber, IRG/WP 02-40242. Paper prepared for the 33rd Annual Meeting Cardiff, Wales 12-17 May 2002.

9- Brischke, C.; Rapp, A.O. 2004. Investigation of the suitability of silver fir (Abies alba Mill.)
for thermal modification, IRG/WP 04-40275. Paper prepared for the 35th Annual Meeting Ljubljana, Slovenia 6-10 June, 2004.

10- Dahmardeh- Ghalehno, M. and Nazerian, M. 2011. Changes in the Physical and Mechanical Properties of Iranian Hornbeam Wood (carpinus betulus) with Heat Treatment, European Journal of Scientific Research, Vol. 51 No. 4, pp. 490-498.

11- DIN EN 113, 1996-11. Wood preservatives method of test for determining the protective effevtiveness against wood destroying basidiomycetes- determination of the toxic values; German version EN113, 1996.

12- Doi, S., Hanata, K., Kamonji E. and Miyazaki, Y. 2004. Decay and termite durabilities of heat-treated wood, IRG/WP04-40272. Prepared for the IRG 35th Annual Meeting Ljubljana, Slovenia 6-10 June 2004.

13- Findlay, W. P. K. 1967. Timber pests and diseases.

14- Gunduza, G. and Aydemira, D. 2009. Some Physical Properties of Heat-Treated Hornbeam (Carpinus betulus L.) Wood, Drying Technology journal, no. 27, PP: 714–720.

15- Hakkou, M., Trissans, M.P., Zoulalian, A. and Ge´rardin, p. 2005. Investigation of wood wettability changes during heat treatment on the basis of chemical analysis, Sience Direct, Polymer Degradation and Stability 89 (2005), p: 1-5.

16- Kamdem, d. p., Pizzi, A., Guyonnet, R. and Jermannaud, A. 1999. Durability of heat-treated wood, IRG/WP 99-40145. Paper prepared for the 30th annual meeting Rosenheim, Germany 6-11 June 1999.

17- Rep, G., Pohleven, F. and Bucar, B. 2004. Characteristics of thermally modified wood in vacuum, IRG/WP 04-40287. Paper for 35th Annual meeting Ljubljana, Slovenia, 6-10 June 2004.

18- Santos, J. A. 2000. Mechanical behaviour of Eucalyptus wood modified by heat, Wood Science and Technology, 34, p: 39-43, Springer-Verlag 2000.

19- Viitanen, H., Jamsa, S., Paajanen, L., Nurmi, A. and Viitaniemi, P. 1994. The effect of treatment on the properties of spruce, IRG/WP 94-40032, paper prepared for the 25th annual meeting Bali, Indonesia, May 29-June 3.

20- Westin, M., Rapp, A. O. and Nilsson, T. 2004. Durability of pine modified by 9 different methods, IRG/WP 04-40288. Paper prepared for the 35th Annual Meeting Ljubljana, Slovenia 6-10 June 2004.

21- Willeitner, H. 1965. Ubre die mykologische prufung, Von Holz spanpltten material pruf, 7(4).

22- Yildiz, S., U. C. Yildiz, E. D. Gezer, A. Temiz and E. Dizman, 2004. The effects of heat treatment on the toughness of beech wood, IRG/ WP. 04-40 283. Paper prepared for the 35th Annual Meeting Ljubljana, Slovenia 6-10 June 2004.

23- Yildiz, S., Çolakoglu, G., Yildiz, U. C., Gezer, E. D. and Temiz, A. 2002. Effect of heat treatment on modulus of elasticity of beech wod, IRG/WP 02-40222. Paper prepared for the 33rd Annual Meeting Cardiff, Wales, United Kingdom 12-17 May 2002.