

همبستگی بین پارامترهای آوندی و ویژگی‌های خشک شدن چوب‌های پهن برگ؛ مطالعه موردی: گونه‌های راش (*Fagus orientalis*) و بلوط (*Quercus castaneifolia*)

مرجان ابراهیمی^۱، اصغر طارمیان^{۲*} و رضا اولادی^۳

۱- کارشناس ارشد، گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران

۲- نویسنده مسئول، دانشیار، گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران

پست الکترونیک: tarmian@ut.ac.ir

۳- دانشیار، گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران

تاریخ دریافت: خرداد ۱۳۹۷ تاریخ پذیرش: مرداد ۱۳۹۷

چکیده

در این تحقیق، اثرهای ویژگی‌های آوندی شامل قطر و فراوانی آوندها و میزان تخلخل بر سرعت خشک شدن و برون‌سختی چوب‌های راش (*Fagus Orientalis*) و بلوط (*Quercus castaneifolia*) بررسی شد. برای این منظور، تخته‌های مماسی به ابعاد ۸۰×۵۰×۱۷۰ میلی‌متر به ترتیب در جهت‌های طولی، شعاعی و مماسی از چوب‌برون این گونه‌ها بریده شد و در یک خشک‌کن آزمایشگاهی به روش جابجایی هوای گرم و در دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۵۰ درصد از رطوبت سبز تا میانگین رطوبت نهایی ۸ درصد خشک شدند. پس از خشک شدن، شدت برون‌سختی تخته‌های خشک‌شده با برش نمونه‌های چنگالی شکل تعیین شد. برای بررسی‌های میکروسکوپی و اندازه‌گیری ویژگی‌های آوندی از روش گچ و مازیک و نرم‌افزار ImageJ استفاده شد و همبستگی پیرسون بین پارامترهای آوندی و ویژگی‌های خشک شدن با استفاده از نرم‌افزار SPSS تعیین شد. نتایج نشان داد که نقش فراوانی آوندها و تخلخل در سرعت خشک شدن این چوب‌ها مهمتر بوده ولی از نقش قطر آوندها می‌توان چشم‌پوشی کرد؛ به‌طوری که با وجود بیشتر بودن قطر آوندها در چوب بلوط، سرعت خروج آب آزاد در این چوب کمتر از چوب راش بود. همچنین نتایج نشان داد که همبستگی بین برون‌سختی و متوسط اندازه آوندی مثبت و معنی‌دار بود ولی بین تخلخل و برون‌سختی همبستگی منفی معنی‌داری مشاهده شد.

واژه‌های کلیدی: آوند، چوب پهن‌برگ، سرعت خشک شدن، برون‌سختی، همبستگی پیرسون

مقدمه

است، بنابراین انتظار می‌رود که گونه‌های چوبی رفتار متفاوتی طی خشک شدن از خود نشان دهند. علاوه بر این، معایب رویشی مانند وقوع چوب‌های واکنشی، چوب تر، دل‌قرمزی و تشکیل تیل در حفره‌های آوندی سرعت خشک شدن چوب و کیفیت آن را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Gholamiyan & Tarmian, 2011; Shahverdi et al.

خشک کردن چوب به‌ویژه در دامنه آب آزاد وابسته به ساختمان تخلخلی و آناتومی آن است. در دامنه آب آغشتگی، دانسیته چوب نقش تعیین‌کننده‌ای دارد و با افزایش دانسیته از سرعت خروج آب آغشتگی از چوب کاسته می‌شود. با توجه به اینکه ویژگی‌های آناتومی و دانسیته در گونه‌های چوبی و نیز رویشگاه‌های مختلف متغیر

به‌عنوان مثال، نتایج حکایت از آن دارد که تشکیل چوب‌کشی در الوار منجر به وقوع برون سختی (تنش‌های باقی‌مانده) و چین‌خوردگی سلولی بیشتر شده و علاوه بر آن ترک‌های سطحی در امتداد حلقه‌های سالیانه نیز رخ می‌دهد (Tarmian *et al.*, 2009c; Tarmian *et al.*, 2011).

Redman و همکاران (۲۰۱۶) گزارش کردند که در گونه‌های مختلف اکالیپتوس، نسبت قطر حفره سلول‌های فیبری به ضخامت دیوار فیبر پارامتر تعیین‌کننده در حساسیت چوب به وقوع پدیده کلاپس (چین‌خوردگی سلولی) است. در مجموع می‌توان گفت که ارتباط تنگاتنگی بین ویژگی‌های آناتومی چوب و رفتار خشک شدن آن وجود دارد. آگاهی از اثرهای ویژگی‌های آناتومی مهم چوب بر سازوکار خشک شدن آن، پیش‌بینی و مدل‌سازی فرایند خشک شدن چوب را امکان‌پذیر می‌سازد (Perre, 2007).

در چوب‌های پهن‌برگ، با توجه به دیوار نازک و قطر حفره سلولی بزرگ سلول‌های آوندی، این نوع سلول‌ها در فرایند خشک شدن چوب به‌ویژه در مرحله خروج آب آزاد نقش مهمی را ایفا می‌کنند. در برخی از فرایندهای چوب خشک‌کنی مانند خشک کردن تحت خلأ و یا در دمای بالا که جریان توده‌ای آب آزاد یا بخار آب در اثر گرادیان فشار به‌عنوان نیروی رانش اصلی انتقال رطوبت در چوب، سرعت خشک شدن چوب را کنترل می‌کند (Espinoza & Bond, 2016). ویژگی‌های آوندی و نفوذپذیری چوب از اهمیت بسزایی برخوردار هستند و از این ویژگی‌ها می‌توان در تدوین برنامه‌های چوب خشک‌کنی بهره برد. اخیراً، Madhoushi & Alizadeh (2017) به‌جای استفاده از کد برنامه‌های آزمایشگاه فراورده‌های جنگلی آمریکا (FPL^۲)، تدوین عددی و تجربی برنامه خشک شدن چوب راش را بر پایه تئوری انتشار انجام دادند. مدل‌های انتشار معمولاً بر پایه سرعت خشک شدن چوب استوار بوده و عوامل مؤثر بر آن شامل گونه چوبی، ضخامت و نفوذپذیری چوب در نظر گرفته می‌شود و برای گونه‌های با نفوذپذیری کم و دانسیته بالا از دقت بیشتری

(2003; Forozan *et al.*, 2015). بنابراین، برنامه‌های چوب خشک‌کنی اغلب بر اساس ضخامت الوار و نوع گونه تدوین می‌شوند. در چوب‌های پهن‌برگ، قطر و فراوانی عناصر آوندی و نیز ویژگی‌های منافذ بین دیوار آوندی، نقش مهمی در فرایند انتقال سیال در آنها ایفا می‌کنند (Tarmian *et al.* 2009 a, b). نتایج تحقیقات حکایت از آن دارد که تشکیل تیل در حفره‌های آوندی راش ایرانی از نفوذپذیری آن می‌کاهد (Gholamiyan & Tarmian, 2011). همچنین، قطر و فراوانی کم منافذ بین دیوار آوندی در چوب‌کشی راش عامل اصلی کاهش میزان نفوذپذیری آن در مقایسه با چوب نرمال است (Tarmian *et al.* 2009 a). تحقیقات Shahverdi و همکاران (۲۰۰۳) نیز نشان داد که تشکیل دل‌قرمزی در راش منجر به کاهش سرعت خشک شدن چوب و هم‌کشیدگی عرضی و برون سختی بیشتر در آن می‌گردد. آنان رفتار خشک شدن متفاوت چوب دل‌قرمزی راش را به وجود تیل در حفره‌های آوندی نسبت دادند.

علاوه بر آن‌ها که مهمترین مسیر انتقال رطوبت در چوب‌های پهن‌برگ به‌شمار می‌آید، نقش پره‌چوبی را در انتقال شعاعی سیال در چوب، به‌ویژه در چوب‌هایی با حجم فراوانی پره چوبی بالا مانند بلوط و راش نمی‌توان نادیده گرفت. بافت پره چوبی، بافت ضعیفی است و اغلب طی خشک شدن محل گسترش ترک‌ها در چوب می‌باشد؛ بنابراین، به هنگام خشک کردن گونه‌هایی مانند بلوط و راش که پره‌های چوبی بزرگ دارند، باید در گام‌های ابتدایی خشک کردن با اعمال رطوبت نسبی بالا و دمای کم از شدت وقوع ترک‌های سطحی در امتداد این پره‌ها کاست (Keey *et al.*, 2000). Emaminasab و همکاران (۲۰۱۷) دریافتند که فراوانی پره‌های چوبی عامل تعیین‌کننده در انتقال شعاعی سیال در چوب‌کشی و نرمال صنوبر نیست؛ در مقابل فراوانی و قطر منافذ بین دیوار آوندی و نیز منافذ بین آوند و پره‌چوبی از اهمیت بیشتری برخوردار است.

علاوه بر تأثیر ویژگی‌های آناتومی چوب بر سرعت خشک شدن آن، تغییرات در ساختار میکروسکوپی چوب بر شدت وقوع معایب خشک شدن نیز تأثیرگذار است.

1 -Driving force

2 -Forest Product Laboratory

آزمایشگاهی به روش جابجایی هوای گرم در دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۵۰ درصد از رطوبت سبز تا رطوبت نهایی ۸ درصد خشک شدند. کنترل و اندازه‌گیری رطوبت جاری تخته‌ها، به روش توزین روزانه آنها انجام شد. سپس، منحنی خشک شدن رسم شد و سرعت خشک شدن آنها در دو دامنه آب آزاد و آب پیوندی محاسبه شد. برای محاسبه میانگین سرعت خروج آب آزاد، مقدار متوسط رطوبت نقطه اشباع فیبر (FSP) برای هر دو گونه ۳۰ درصد در نظر گرفته شد.

بررسی‌های آناتومی چوب و اندازه‌گیری پارامترهای آوندی

برای اندازه‌گیری ویژگی‌های حفره‌های آوندی از روش گچ و ماژیک و نرم‌افزار ImageJ استفاده شد. در ابتدا نمونه‌هایی با رطوبت سبز و به ابعاد $10 \times 20 \times 50$ (ضخامت \times عرض \times طول) میلی‌متر بریده شد (شکل ۱). آنگاه این نمونه‌ها از قسمت میانی تخته‌ها تهیه شدند. برای گونه بلوط که بخش روزنه‌ای است و حفره‌های آوندی بزرگ و واضحی دارد، به ترتیب از سنباده‌های ۱۰۰ تا ۱۰۰۰ استفاده شد تا سطحی با وضوح بالا به دست آید. سپس مقطع عرضی نمونه‌ها با ماژیک سیاه‌رنگ شد و پس از خشک شدن، با وارد کردن گچ سفید به داخل آوندها، تضاد رنگی بین آوندها و بافت زمینه افزایش یافت. برای گونه راش که پراکنده‌آوند است و برای اندازه‌گیری ویژگی‌های آوندی به وضوح بهتری نیاز بود، از میکروتوم برای برش و آماده‌سازی سطح استفاده شد. هدف استفاده از میکروتوم برای آماده‌سازی گونه راش، مقطع‌برداری نازک از چوب نبود؛ بلکه از آن برای صاف کردن سطح چوب استفاده گردید. برای این منظور، نمونه‌ها دو روز در آب و گلیسرین قرار گرفتند تا بافت آنها کاملاً نرم شده و زمان برش آسب نبیند. پس از برش و خشک شدن نمونه‌ها، شیوه ماژیک سیاه و گچ سفید برای این نمونه‌ها نیز اعمال شد. پس از آماده‌سازی، نمونه‌ها با استفاده از اسکتر و با

برخوردار هستند (Madhoushi & Alizadeh, 2017). بنابراین، برای پیش‌بینی و مدل‌سازی دقیق فرایند چوب خشک‌کنی، اطلاع از اثرهای هر یک از پارامترهای آوندی بر سرعت خشک شدن چوب به‌ویژه در مرحله خروج آب آزاد و یافتن ویژگی اصلی تأثیرگذار ضروریست. هدف اصلی در این تحقیق، بررسی همبستگی بین ویژگی‌های آوندی (قطر، فراوانی آوندها و تخلخل) و ویژگی‌های خشک شدن دو گونه چوبی پهن‌برگ (بلوط و راش) است تا مهمترین پارامتر آوندی اثرگذار بر سرعت خشک شدن چوب پهن‌برگ و تنش‌های چوب خشک‌کنی تعیین شود. نتایج این تحقیق می‌تواند اطلاعاتی را برای مدل‌سازی و تدوین برنامه‌های چوب خشک‌کنی دقیق‌تر چوب‌های پهن‌برگ با لحاظ کردن ویژگی‌های آناتومی مهم در این نوع مدل‌ها یا برنامه‌ها در اختیار قرار دهد.

مواد و روش‌ها

نمونه‌برداری و برش تخته‌ها

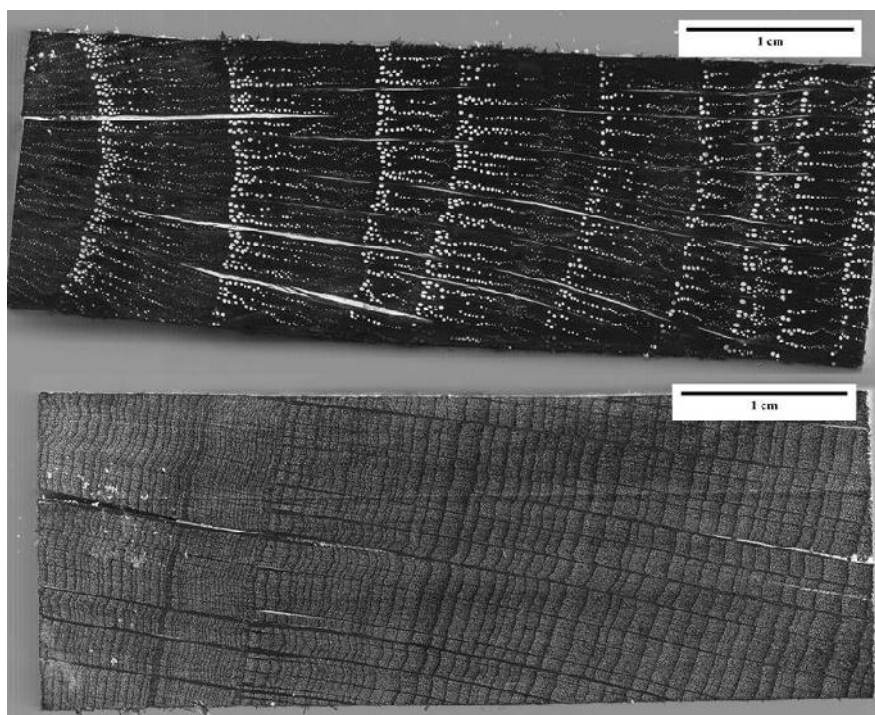
گونه راش (*Fagus orientalis* Lipsky) مورد مطالعه مربوط به جنگل آموزشی و پژوهشی خیرود دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران در حدود هفت کیلومتری شرق نوشهر و گونه بلوط (*Quercus castaneifolia*) از جنگل چالکروود متعلق به اداره منابع طبیعی رامسر بود. از گرده‌بینه‌های تازه قطع شده این دو گونه، تخته‌های مماسی به ابعاد $80 \times 50 \times 170$ میلی‌متر (L×R×T) از قسمت چوب برون بریده شد. ۶ تکرار از هرگونه برای تحقیق استفاده شد.

خشک کردن تخته‌ها

قبل از خشک کردن تخته‌ها، جرم ویژه و رطوبت اولیه آنها اندازه‌گیری شد. جرم ویژه چوب راش و بلوط به ترتیب برابر با ۰/۵۵ و ۰/۸۴ گرم بر سانتی‌متر مکعب بود. همچنین، مقاطع عرضی تخته‌ها با دو لایه رزین اپوکسی اندود شد تا از خروج رطوبت از مقاطع عرضی و در جهت طولی ممانعت شده و شرایط واقعی خشک شدن تخته‌ها در کوره (یعنی انتقال عرضی رطوبت) شبیه‌سازی شود. تخته‌ها در یک کوره

نسبت مجموع مساحت آوندها در محدوده آنالیز شده به مساحت محدود آنالیزه شده توسط نرم‌افزار برحسب درصد محاسبه و گزارش شد. فراوانی آوندها (n/mm^2) نیز از نسبت تعداد آوند شمارش شده در محدوده آنالیز شده به مساحت محدود آنالیز شده محاسبه شد (Oladi, 2014).

کیفیت ۴۸۰۰ نقطه در اینچ^۱ اسکن شده و با نرم‌افزار ImageJ ویژگی‌های آوندی اندازه‌گیری شد (شکل ۱). پارامترهای آوندی مورد مطالعه در این تحقیق عبارت از متوسط اندازه حفره‌های آوندی، فراوانی آوند و تخلخل بودند. در هر نمونه، حدود ۱۰ سانتی‌متر مربع از مقطع عرضی مورد بررسی قرار گرفت. تخلخل که عبارت است از



شکل ۱- مقاطع اسکن شده یک نمونه بلوط (بالا) و راش (پایین)

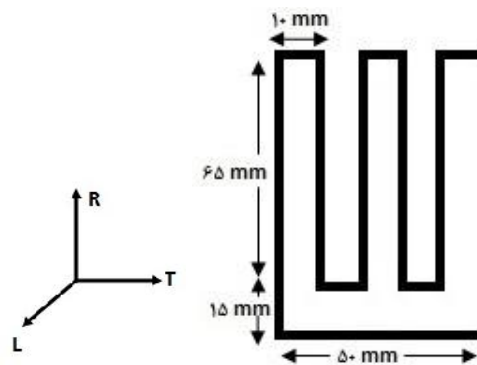
$$Ch = \frac{x - \bar{x}}{L^2} \quad (1)$$

در این رابطه، Ch برون سختی، x فاصله اولیه دو شاخه بیرونی x' فاصله ثانویه آنها بعد از برش و L طول شاخه است.

اندازه‌گیری برون سختی

پس از خشک کردن تخته‌ها، با

برش آزمونه‌های سه شاخه (شکل ۲)، برون سختی و تنش‌های باقی‌مانده با استفاده از رابطه (۱) اندازه‌گیری شد.



شکل ۲- روش برش آزمون سه شاخه برای اندازه‌گیری برون سختی

تجزیه و تحلیل آماری

از همبستگی پیرسون برای بررسی وجود و مقدار همبستگی بین ویژگی‌های آوندی و متغیرهای خشک شدن استفاده شد. همچنین، برای مقایسه تفاوت سرعت خشک شدن و برون سختی بین دو گونه بلوط و راش، از آزمون T مستقل استفاده شد. این آزمون‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS انجام شدند.

نتایج

ویژگی‌های آوندی

در جدول ۱ نتایج اندازه‌گیری پارامترهای آوندی در چوب راش و بلوط ارائه شده است. نتایج نشان داد که تخلخل و فراوانی آوندها در چوب راش به‌طور معنی‌داری بیشتر از چوب بلوط بود. در مقابل، قطر متوسط آوندها در چوب بلوط بیش از ۵ برابر قطر آوندهای راش بود.

جدول ۱- مقادیر متوسط پارامترهای آوندی چوب راش و بلوط

گونه چوبی	تخلخل (درصد)	فراوانی آوند (n/mm ²)	قطر آوند (میکرون)
بلوط (<i>Quercus castaneaefolia</i>)	۲۳/۵	۰/۱۶	۱۷۸/۱
	(۱/۵)	(۰/۰۴)	(۵/۳)
راش (<i>Fagus orientalis</i>)	۴۶/۱	۱۳/۲	۳۴/۴
	(۰/۳)	(۸/۸)	(۷/۱)

اعداد داخل پرانتز انحراف معیار است.

سرعت خشک شدن

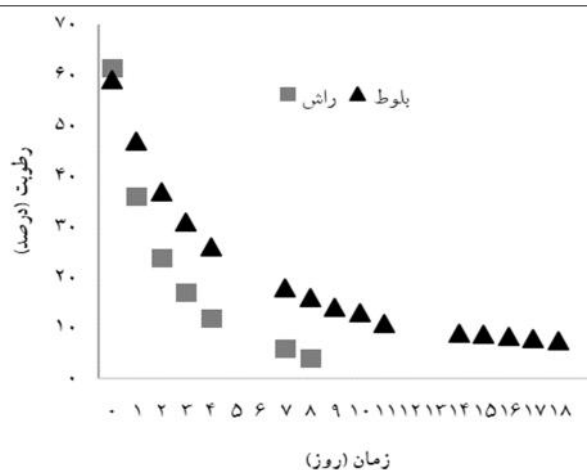
در جدول ۲ نتایج تجزیه و تحلیل آماری مقایسه پارامترهای خشک شدن راش و بلوط ارائه شده است. میانگین رطوبت سبز (اولیه) تخته‌های بلوط و راش قبل از خشک کردن به ترتیب برابر با ۵۹/۵ و ۶۱/۵ درصد است. منحنی خشک شدن تخته‌ها در شکل ۳ ارائه شده است. نتایج نشان داد که خروج رطوبت در هر دو دامنه آب آزاد و

آب پیوندی در چوب راش سریع‌تر از چوب بلوط رخ می‌دهد و در هر دو دامنه رطوبتی، شیب منحنی خشک شدن در گونه راش بیشتر است. متوسط مدت زمان خشک شدن تخته‌های راش و بلوط از رطوبت سبز تا رطوبت نهایی ۸ درصد به ترتیب برابر ۷ و ۱۸ روز بود. البته متوسط سرعت خشک شدن چوب راش از چوب بلوط بیشتر بود (شکل ۴). میانگین سرعت خروج آب آزاد در چوب‌های بلوط و

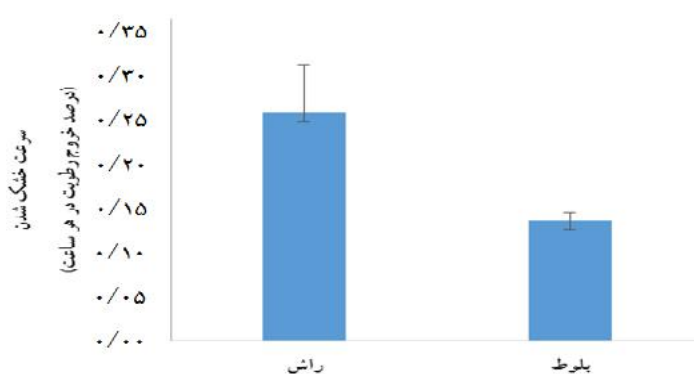
راش به ترتیب برابر با ۰/۴۶ و ۱/۰۶ درصد در ساعت بود. همچنین، متوسط سرعت خروج آب آغستگی با فرض رطوبت اشباع فیبر برابر با ۳۰ درصد برای هر دو گونه بود؛ برای چوب راش برابر با ۰/۱۵ درصد در ساعت و برای چوب بلوط برابر با ۰/۰۷ درصد در ساعت به دست آمد.

جدول ۲- تجزیه و تحلیل آماری آزمون t برای مقایسه پارامترهای خشک شدن چوب راش و بلوط

تفاوت میانگین	Sig
متوسط سرعت خشک شدن (درصد خروج رطوبت در ساعت)	۰/۰۰۰
سرعت خروج آب آزاد	۰/۰۰۰
سرعت خروج آب پیوندی	۰/۰۰۰
برون سختی	۰/۰۰۱



شکل ۳- منحنی خشک شدن تخته‌های راش و بلوط



شکل ۴- میانگین سرعت خشک شدن تخته‌های بلوط و راش

برون سختی وجود داشت؛ به عبارت دیگر در همه تخته‌ها، شاخه‌های آزمون‌ها پس از برش به هم نزدیک شدند. متوسط برون سختی نمونه‌ها در شکل ۵ ارائه شده است.

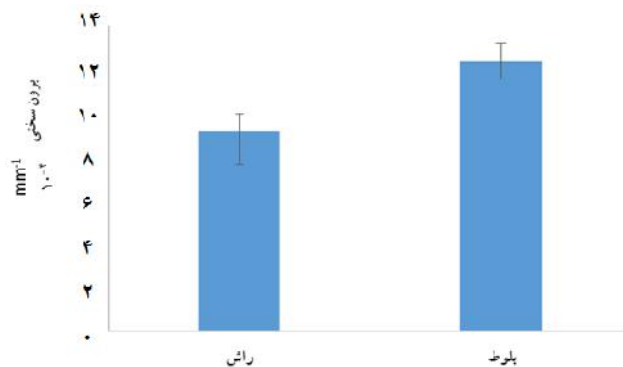
نتایج اندازه‌گیری تنش‌های باقی مانده چوب خشک‌کنی (برون سختی) نشان داد که در همه تخته‌های خشک‌شده، برون سختی وجود داشت؛ به عبارت دیگر در همه تخته‌ها، شاخه‌های آزمون‌ها پس از برش به هم نزدیک شدند. متوسط برون سختی نمونه‌ها در شکل ۵ ارائه شده است.

شدن هر دو نوع چوب و نیز در دامنه آب آزاد و آب آغشتگی همبستگی مثبت و معنی داری در سطح اعتماد ۹۹ درصد دارد. در صورتی که همبستگی این فاکتورها با متوسط قطر آوندی در سطح اعتماد ۹۹ درصد منفی است. همچنین، همبستگی پارامتر تخلخل با سرعت خروج آب آزاد و آب آغشتگی در سطح ۹۹ درصد معنی دار بود. نتایج نشان داد که با افزایش تخلخل چوب بر سرعت خروج رطوبت در هر دو دامنه آب آزاد و آغشتگی افزوده می شود.

نتایج نشان داد که تفاوت معنی داری در سطح اعتماد ۹۵ درصد بین برون سختی تخته های راش و بلوط وجود دارد. البته میزان برون سختی در بلوط بیشتر از راش بود.

همبستگی پیرسون

همبستگی پیرسون بین پارامترهای آوندی و سرعت خشک شدن نتایج همبستگی پیرسون بین پارامترهای آوندی و ویژگی های خشک شدن در جدول ۳ قابل مشاهده است. نتایج نشان داد که فراوانی آوندها با سرعت متوسط خشک



شکل ۵- متوسط برون سختی در تخته های خشک شده راش و بلوط

داشت ($r = 0.59$). به علاوه همبستگی این فاکتور با متوسط اندازه آوندی مثبت و در سطح ۹۵ درصد معنی دار بود. همبستگی تخلخل با برون سختی در سطح اعتماد ۹۵ درصد دارای همبستگی منفی بود.

همبستگی پیرسون بین پارامترهای آوندی و برون سختی البته بین برون سختی و سرعت خشک شدن در دامنه آب آزاد، آب پیوندی و متوسط سرعت خشک شدن همبستگی منفی با معنی داری در سطح ۹۵ درصد وجود

جدول ۳- همبستگی پیرسون پارامترهای آوندی و خشک شدن

	متوسط اندازه آوندی	تخلخل	فراوانی آوند
متوسط سرعت خشک شدن	** -0.88	* 0.76	** 0.98
سرعت خروج آب آزاد	** -0.94	** 0.86	** 0.97
سرعت خروج آب پیوندی	** -0.99	** 0.92	** 0.93
برون سختی	* 0.71	* -0.75	-0.34

*: معنی دار در سطح اعتماد ۹۵ درصد؛ **: معنی دار در سطح اعتماد ۹۹ درصد

بحث

نتایج نشان داد که سرعت خشک شدن چوب بلوط در هر دو دامنه آب آزاد و آب آغشتگی کمتر از چوب راش است.

خروج سریع‌تر آب آزاد در چوب راش در مقایسه با چوب بلوط می‌تواند ناشی از فراوانی بیشتر آوندها باشد. در مجموع، می‌توان نتیجه‌گیری کرد که نقش فراوانی آوندها در مقایسه با قطر آنها در کنترل سرعت خشک شدن چوب در دامنه آب آزاد مهمتر است. Tarmian و Sayar (۲۰۱۰) و Parhizkari و همکاران (۲۰۱۱) نیز گزارش کردند که در چوب‌کشی صنوبر فراوانی عناصر آوندی کمتر از چوب معمولی است و این مسئله تأثیر منفی بر سرعت خروج آب آزاد از این نوع چوب دارد. Tarmian و همکاران (۲۰۰۹) نیز کمتر بودن سرعت خشک شدن چوب‌کشی راش را به کاهش قطر و فراوانی آوندها در اثر تشکیل این نوع چوب واکنشی نسبت دادند.

سرعت خشک شدن با متوسط اندازه حفره‌های آوندی همبستگی معکوس و معنی‌داری داشت و با کاهش متوسط اندازه آوندی بر سرعت خشک شدن چوب افزوده شد. این نتیجه در دیدگاه اول عجیب به نظر می‌رسد، زیرا با بزرگ‌تر شدن اندازه آوندها به‌طور طبیعی تخلخل کلی هم باید افزایش یابد ولی باید توجه نمود که تخلخل حلقه‌های رویشی درختان (در حالت بین گونه‌ای) بیشتر متأثر از تعداد آوندها است تا اندازه‌شان. از سویی، رابطه معکوس ذاتی را که بین فراوانی آوندها و میانگین مساحت آنها وجود دارد باید در نظر گرفت.

در مجموع نتایج نشان داد که از بین ویژگی‌های آناتومی، بیشترین تأثیر (قوی‌ترین همبستگی) بین تعداد آوند و سرعت خشک شدن وجود دارد. در واقع سرعت خشک شدن در وهله اول متأثر از تعداد آوندهاست. البته رابطه منفی بین ابعاد آوند و سرعت خشک شدن از این منظر قابل توجیه است، زیرا با افزایش تعداد آوندها، اندازه آنها اندکی کاهش می‌یابد و بعکس. پژوهش‌هایی که بر روی ویژگی آناتومی گونه‌های مختلف انجام شده است، حکایت از آن

دارد که تغییرات تعداد آوند بسیار بیشتر از اندازه آنهاست؛ به عبارت دیگر اندازه آوندها در دامنه محدودی تغییر می‌کند (Oladi *et al.*, 2014; Oladi *et al.*, 2015). بنابراین کمتر شدن اندازه آوند در واقع به معنی افزایش چشمگیر تعداد آوند است که این افزایش موجب افزایش قابل‌ملاحظه در سرعت خشک شدن می‌شود. به‌طور کلی می‌توان نتیجه‌گیری کرد که در تخلخل کلی، تعداد آوند بسیار مهمتر از ابعاد آن است، زیرا ابعاد خیلی تغییر نمی‌کند. افزایش فاحش تعداد آوندها با کاهش اندک اندازه آنها، نه تنها کاهش مساحت را جبران می‌کند بلکه تخلخل کلی را افزایش می‌دهد. تحقیقات اخیر حکایت از آن دارد که درختان بلوط و راش نیز در عمل با تغییر تعداد آوندها، انتقال سیال و شیرگیاهی در تنه خود را کنترل می‌کنند (Oladi *et al.*, 2014; Najafi *et al.*, 2018).

با توجه به نتایج به‌دست آمده می‌توان گفت که شدت همبستگی بین ویژگی‌های آوندی و برون‌سختی به‌مراتب کمتر از ارتباط بین سرعت خشک شدن و ویژگی‌های آوندی بود. البته برون‌سختی با فراوانی آوندها ارتباط معناداری نشان نداد و سطح معناداری ارتباطش با ابعاد اندازه آوندها و تخلخل نیز کمتر بود. نتایج نشان داد که هرچه درصد تخلخل بیشتر و اندازه آوندها کوچک‌تر باشد، برون‌سختی کمتر است. Moya و همکاران (۲۰۱۲) نیز ارتباط مستقیم و معناداری بین فراوانی آوند و برخی معایب چوب خشک‌کنی مشاهده کردند. با وجود این، باید به این مسئله تأکید کرد که اگرچه سرعت خشک شدن چوب پهن‌برگ می‌تواند بسیار متأثر از ویژگی‌های آوندی آن باشد ولی در تعیین برون‌سختی و تنش‌های باقی‌مانده چوب خشک‌کنی عوامل دیگری مانند شرایط و روش خشک کردن نیز تأثیرگذارند. به‌عنوان مثال، برون‌سختی در چوب خشک‌شده در هوای آزاد معمولاً کمتر از چوب خشک‌شده در کوره است و اغلب با افزایش دمای خشک‌کن و اعمال برنامه چوب خشک‌کنی شدید و در نتیجه افزودن بر سرعت خشک شدن چوب، بر شدت تنش‌های باقی‌مانده چوب خشک‌کنی افزوده می‌شود (Tarmian *et al.*, 2009).

- The mutual relationship between earlywood vessel features of Persian oak (*Quercus brantii* Lindl.) and tree mortality. *Iranian Journal of Forest* 10(1): 1-12. (In Persian)
- Oladi, R. 2014. Application of "Image J" for measuring vessel features of wood. In: The second national conference on new technologies in the wood and paper industries, IAUCCWP02_063, Chalous, Iran. (In Persian)
- Oladi, R., Bräuning, A. and Pourtahmasi, K., 2014. "Plastic" and "static" behavior of vessel-anatomical features in Oriental beech (*Fagus orientalis* Lipsky) in view of xylem hydraulic conductivity. *Trees* 28: 493-502.
- Oladi, R., Nasiriani, S., Danekar, A. and Pourtahmasi, K. 2015. Inter-relations between tree-ring width and vessel features in black alder (*Alnus glutinosa*). *Iranian Journal of Wood and Paper Science Research* 30(2):278- 288. (In Persian)
- Espinoza1, O. and Bond, B., 2016. Vacuum Drying of Wood—State of the Art. *Curr Forestry Rep*, 2:223–235
- Parhizkari, M.M., Tarmian, A., Taghiyari, H.R. and Karimi, A.N., 2011. The effect of drying intensity and moisture content on longitudinal permeability of poplar tension and normal wood (*populus nigra* Iranian Journal of Wood and Paper Science Research 26 (3), 2011, 477-485.
- Rahimi, S., Tarmian, A. and Faezipour M., 2011. A study on the effect of grain orientation on the quality of kiln dried poplar lumbers. *Journal of Forest and Wood Products*, 64(1): 23-37. (In Persian)
- Perre, P., 2007. *Fundamentals of Wood Drying*. A.R.BO.LOR., France, 365p.
- Redman A.L., Henri B., Turner I. and Perre P. 2016. Characterization of wood-water relationships and transvers anatomy and their relationship to drying degrade. *Wood Science and Technology*, 50: 739-757.
- Salehpour Sh. and Tarmian, A., 2014. Effect of Drying method on the permeability coefficient of oak wood (*Quercus catanifolia*). *Iranian Journal of Wodo and Paper Industries*, 5(1):1-9 (In Persian)
- Sayar M. and Tarmian A., 2010. The effect of tension wood formation on the anatomical characteristics and gelatinous layer formation in the fibers of poplar (*P. nigra*). *Journal of Wood & Forest Science and Technology*, 17(2): 144-133. (In Persian)
- Shahverdi, M., Tarmian, A., Haji Mirza Tayeb and Moosavi Hossini, S.M.J., 2010. Effect of beech red heartwood (*Fagus orientalis* L.) on the physical properties (moisture content and specific gravity) and the drying behavior of the species. *Journal of Wood & Forest Science and Technology*, 17(3): 85-98. (In Persian)
- Tarmian, A. and Perré, P., 2009a. Air permeability in پره‌های چوبی با توجه به گونه چوبی شاید در انتقال عرضی رطوبت نقش مهمی ایفا کنند. همچنین بیومتری فیبرها ممکن است نقش مهمی در تعیین دانسیته داشته و به شکل غیرمستقیم جریان سیال را در بافت چوبی تحت تأثیر قرار دهند (Fichtler and Worbes, 2012; Redman) (*et al.*, 2016) بنابراین پیشنهاد می‌شود که در تحقیقات آینده تأثیر ابعاد و فراوانی پره‌های چوبی و نیز بیومتری فیبرها بر سرعت و کیفیت خشک شدن چوب راش و بلوط بررسی شود. در این تحقیق فقط بر رفتار خشک شدن چوب برون گونه‌های راش و بلوط متمرکز شد؛ بنابراین پیشنهاد می‌شود در تحقیقات بعدی بر روی اثرهای پارامترهای آوندی بر رفتار خشک شدن چوب درون این گونه‌ها که در حفره‌های آوندی آنها تیل تشکیل می‌شود، بررسی انجام گیرد.

منابع مورد استفاده

- Emaminasab, M., Tarmian, A., Oladi, R., Pourtahmasi, K. and Avramidis, S., 2016. Fluid permeability in poplar tension and normal wood in relation to ray and vessel properties. *Wood Science and Technology*, 51: 1-12.
- Fichtler, E. and Worbes, M., 2012. Wood anatomical variables in tropical trees and their relation to site conditions and individual tree morphology. *IAWA Journal* 33: 119-140.
- Forozan, Z., Tarmian, A., Ghamari R. and Matini Behzad H., 2015. The Effect of wetwood and blue stain (*Ceratocystis* spp.) on the drying rate and fluid transport coefficients of poplar Wood (*P. nigra*). *Iranian Journal of Wood and Paper Science Research*, 29(4): 579-571. (In Persian)
- Gholamiyan H. and Tarmian, A., 2010. Radial variation in longitudinal permeability of beech wood containing red heartwood. *Iranian Journal of Natural Resources*, 63(1): 37-46. (In Persian)
- Keey, R.B., Langrish, T.A.G. and Walker, J.C.F., 2000. *Kiln Drying of Lumber*, Springer, Berlin, 326p.
- Madhoushi, M. and Alizadeh, M., 2017. Numerical and experimental establishment of kiln drying schedule for Iranian beech wood based on diffusion theory. *Iranian Journal of Wood and Paper Science Research*, 32(4): 486-497. (In Persian)
- Moya, M., Tenorio C. and Meyer, I., 2012. Influence of wood anatomy on moisture content, shrinkage and during defects in *Vochysia guatemalensis* Donn Sm. *Scientia Forestalis*, 40(94):249-258.
- Najafi Harsini, F., Oladi, R. and Pourtahmsi, K., 2018.

- 43:113-130.
- Tarmian, A., Sepehr, A. and Rahimi, S., 2009c. Drying Stress and Strain in Tension Wood: A Conventional Kiln Schedule to Efficiently Dry Mixed Tension/Normal Wood Boards in Poplar. *Drying Technology*, 27:1033-1040.
- Tarmian, A., Shahverdi, M., Eshaghi, S. and Dashti, H., 2011. The susceptibility of poplar tension and normal wood (*P. nigra*) to collapse during drying Iranian 591 *Journal of Wood and Paper Science Research*, 26(3): 579-59. (In Persian)
- longitudinal and radial directions of compression wood of *Picea abies* and tension wood of *Fagus sylvatica*. *Holzforschung*, 63: 352-356.
- Tarmian, A., Remond, R., Dashti, H. and Perré, P., 2012. Moisture diffusion coefficient of reaction woods: compression wood of *Picea abies* L. and tension wood of *Fagus sylvatica* L. *Wood Science and Technology*, 46: 1-3. 405-417.
- Tarmian, A., Remond, R., Faezipour, M., Karimi, K. and Perré, P., 2009b. Reaction wood drying kinetics: Tension wood in *Fagus sylvatica* and compression wood in *Picea abies*. *Wood Science Technology*,

Correlation between vessel features and hardwood drying properties; case study: beech (*Fagus orientalis*) and oak (*Quercus castaneifolia*) woods

M. Ebrahimi¹, A. Tarmian^{2*} and R. Oladi³

1-M.Sc., Department of Wood and Paper Science & Technology, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran

2*-Corresponding author, Associate Professor, Department of Wood and Paper Science & Technology, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran, Email: tarmian@ut.ac.ir

3-Associate Professor, Department of Wood and Paper Science & Technology, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran

Received: June, 2017

Accepted: Aug., 2017

Abstract

In this research, the effects of vessel features, including vessel diameter, density and porosity on drying rate and casehardening of beech (*Fagus Orientalis*) and oak (*Quercus castaneifolia*) woods was investigated. For this purpose, flat-sawn boards with the dimensions of 170×50×80 mm (L×T×R) were cut from the sapwood and then were dried in laboratory kiln at 50°C and 50 % relative humidity to final moisture content of 8%. After drying, the severity of casehardening of dried boards was measured using prong test. For anatomical studies and measuring the vessel features, white chalk and black marker method was used and scanned sections were analyzed using Image J. Pearson correlation was applied between vessel features and drying properties using SPSS software. Results showed that vessel proportion and porosity have pronounced effect on the drying rate compared to vessel diameter and the latter feature can be ignored. It was revealed that even though the oak wood vessel diameter is larger, but drying rate in the free-water domain for oak wood was lower compared to beech wood. Results also showed that correlation between casehardening and vessel diameter was significantly positive. However, a negative correlation was observed between porosity and casehardening.

Keywords: Vessel, hardwood, drying rate, casehardening, vessel features, Pearson correlation