

رابطه بین رطوبت و سرعت موج التراسونیک در خلال خشک شدن چوب گونه نمدار به ضخامت اسمی ۷/۵ سانتیمتر در کوره

قنبر ابراهیمی^۱، حسین محبوب^۲ و سعید کاظمی^۳

چکیده:

سرعت موج اولتراسونیک در جهت طولی تخته‌ها و در سطوح فوقانی، مرکزی و تحتانی چوب نمدار در خلال خشک شدن در کوره در ۳ برنامه با دمای خشک نهایی ۸۲ درجه سانتیگراد و رطوبت‌های نسبی متفاوت اندازه‌گیری شد. سرعت موج اولتراسونیک در دو سطح فوقانی و تحتانی با کاهش رطوبت، از رطوبت سبز تا نقطه اشباع الیاف به طور فزاینده‌ای افزایش یافت، ولی این افزایش از نقطه اشباع الیاف تا رطوبت زیر ۸ درصد به آرامی صورت گرفت. اما در مرکز تخته‌ها افزایش سرعت موج با کاهش رطوبت تا نقطه اشباع الیاف آرام و از نقطه اشباع الیاف تا ۷ درصد بسیار شدید بود. در رطوبت کمتر از ۵ درصد در سه سطح (فوقانی، مرکزی و تحتانی) تخته‌ها مقادیر سرعت موج اولتراسونیک نزدیک به یکدیگر بودند. نتایج نشان داد که سرعت موج و میزان رطوبت (MC) از یک رابطه درجه دو تبعیت می‌کند. طبق نتایج حاصل سرعت موج اولتراسونیک دارای توان خوبی برای کنترل برنامه‌های چوب خشک‌کنی پهن‌برگان در کوره می‌باشد که می‌توان تغییرات شرایط کوره را حتی در رطوبت بالای نقطه اشباع الیاف نیز کنترل کرد.

واژه‌های کلیدی: نمدار، موج اولتراسونیک، میزان رطوبت، نقطه اشباع الیاف

مقدمه:

اجرای برنامه‌های رطوبت پایه چوب خشک‌کنی پهن‌برگان در کوره معمولاً با استفاده از نمونه‌های کنترل و از طریق محاسبه میزان رطوبت جهت تعیین گام مناسب صورت می‌گیرد و این امر با داخل شدن اپراتور به درون کوره و توزین کردن نمونه‌های کنترل امکان‌پذیر می‌باشد. از آنجای که وزن کردن در زمانهای معینی صورت می‌گیرد نمی‌توان شرایط بار کوره را در هر زمان کنترل کرد. از طرف دیگر وزن کردن و محاسبه رطوبت به طور تقریبی انجام می‌شود و این ثبت مشاهدات تغییرات شرایط کوره را به طور دقیق نشان نمی‌دهد. بنابراین می‌توان گفت که وزن کردن نمونه‌های کنترل روش نامناسب و ناکارآمدی برای کنترل گام‌های برنامه رطوبت پایه چوب خشک‌کنی می‌باشد.

در سالهای اخیر سیستم‌هایی که به طور خودکار تغییرات شرایط کوره را نشان می‌دهند برای کنترل کوره‌های چوب خشک‌کنی پهن‌برگان مورد استفاده قرار گرفته‌اند.

یکی از این سیستم‌ها استفاده از رطوبت‌سنج‌های مقاومتی می‌باشد، در این روش سنسورهای حساس به تغییرات مقاومت الکتریکی چوب در داخل چوب کوبیده می‌شود. اندازه‌گیری رطوبت براساس

۱- استاد گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران G.ebrahimi@yahoo.com

۲- فارغ التحصیل کارشناسی ارشد گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس

۳- استادیار گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ - دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس

مقاومت الکتریکی چوب که با تغییرات رطوبت تغییر می‌کند صورت می‌گیرد. اما این روش دارای محدودیت‌هایی می‌باشد، بدین ترتیب که در هنگام خشک شدن بار کوره در محل نفوذ الکترودها با چوب همکشیدگی بوجود می‌آید و سبب می‌شود که اطلاعات بدست آمده دارای خطا باشد.

از طرف دیگر این سنسورها، نسبت به رطوبت بالای ۳۰ درصد حساس نبوده و نمی‌توانند آن را نشان دهند. بنابراین الکترودها نمی‌توانند به طور دقیق تغییرات شرایط کوره را با توجه به میزان رطوبت کنترل کنند.

از دیگر روشهای خودکار استفاده از Load Cells می‌باشد، در این روش میزان رطوبت براساس وزن نمونه‌های کنترل داخل بار کوره محاسبه می‌شود. اگر چه این روش برای کنترل کوره‌های چوب خشک‌کنی چندان رایج نیست، اما این سیستم قادر است تا میزان رطوبت را در تمام سطوح از رطوبت سبز تا خشک اندازه‌گیری کند. اما این روش نیز دارای محدودیت‌هایی می‌باشد بدین ترتیب که Load Cells در هنگام خشک شدن چوب‌آلات دچار خوردگی و زنگ‌زدگی می‌شوند و مانند الکترودها میزان رطوبت را با خطا نشان می‌دهند. از طرف دیگر موقعیت نمونه‌های کنترل در داخل بار کوره متغیر می‌باشد. نمونه‌های کنترل بار کوره در لبه‌های بار جاسازی می‌شوند و این میزان رطوبت چوب در مرکز بار کوره را به خوبی نشان نمی‌دهد، بنابراین رطوبت محاسبه شده معرف میزان رطوبت بار کوره نخواهد بود.

در سال ۱۹۸۲ James و همکاران رابطه سرعت صوت و میزان رطوبت را در کاج قرمز هنگام خشک کردن چوب‌آلات در کوره مورد بررسی قرار داده‌اند و به این نتیجه رسیدند که با کاهش رطوبت در کاج قرمز از ۱۲۰ تا ۶ درصد، زمان عبور سرعت صوت نیز کاهش می‌یابد.

Mishiro در سال (۱۹۹۵ و ۱۹۹۶) چندین مطالعه در مورد رابطه سرعت صوت و میزان رطوبت انجام داده است که بیشتر مطالعه‌ها در مورد انتقال سرعت صوت در سطح و مرکز چوب‌آلات بوده است. Mishiro در تمامی تحقیقات خود به این نتیجه رسیده که افزایش سرعت صوت از رطوبت سبز تا نقطه اشباع الیاف به آرامی افزایش می‌یابد، ولی این افزایش سرعت صوت از نقطه اشباع الیاف به پایین‌تر بسیار شدیدتر می‌باشد و او نیز به این نتیجه رسید که نوع گونه نیز در سرعت صوت بسیار موثر می‌باشد در سال ۱۹۹۶، Hung and Chen نشان داد که سرعت صوت با کاهش رطوبت از ۲۰۰ تا ۱۰ درصد در سطح و مرکز تخته‌ها افزایش می‌یابد. در سال ۱۹۹۷، Kabir و همکاران نشان دادند که با کاهش رطوبت سرعت صوت در سه جهت چوب افزایش می‌یابد که این افزایش در سه جهت چوب از رطوبت بالای نقطه اشباع الیاف تا همین نقطه به آرامی، ولی از نقطه اشباع الیاف به پایین‌تر افزایش سرعت صوت بسیار شدیدتر می‌باشد. در سال ۱۹۹۸، Simpson رابطه بین سرعت صوت و میزان رطوبت MC در بلوط قرمز و افرا در خلال خشک شدن در کوره مورد بررسی قرار داد و به این نتیجه رسید که با کاهش رطوبت سرعت صوت در تخته‌ها افزایش می‌یابد، ولی در رطوبت بالای ۳۰ درصد تغییر چندانی در سرعت صوت بوجود نمی‌آید.

در سال ۲۰۰۱، Simpson نشان داد که بین زمان عبور موج تنش (Stress Wave) و رطوبت رابطه‌ای قوی برقرار می‌باشد، به طوری که با کاهش رطوبت زمان عبور نیز کاهش می‌یابد.

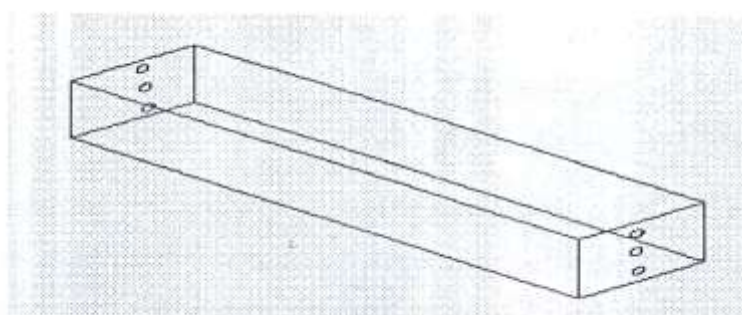
هدف از این مطالعه استفاده از روش غیر مخرب (NDE) در تخمین رطوبت در خلال خشک شدن چوب‌آلات در کوره‌های چوب خشک‌کنی می‌باشد. در این مطالعه سعی شده است تا یک رابطه کیفی مناسب و مفید برای کنترل برنامه‌های چوب خشک‌کنی پهن‌برگان شناسایی و ارائه گردد.

مواد و روشها:

این تحقیق در ۳ برنامه مختلف بر روی چوبهای گونه نمدار (*Tilia begonifolia*) از منطقه خیرودکنار در حوزه اداره کل منابع طبیعی منطقه نوشهر انجام شد. ضخامت اسمی چوب بار کوره در هر برنامه ۷/۵ سانتیمتر بود. برنامه‌های اجرا شده T7-B4, T7-E6 و T8-B3 طبق کدهای پیشنهادی آزمایشگاه فرآورده‌های جنگلی ایالات متحده (F.P.L) صورت گرفته است.

تهیه نمونه‌های کنترل:

نمونه‌های کنترل به تعداد ۴ تخته از چوبهای بار کوه بدون معایبی از قبیل گره، انحراف الیاف، شکاف و باختگی انتخاب گردید. برای تهیه آنها ابتدا به فاصله ۵۰ سانتیمتری انتهای تخته صرفنظر گردید تا اثر خشکی مقطع عرضی اجتناب شود، سپس قطعه‌ای به طول ۷۵ سانتیمتر جدا گردید. از دو انتهای نمونه‌های مذکور، نمونه‌های تعیین رطوبت به طول ۲/۵ سانتیمتر جدا شد. باقیمانده نمونه کنترل به طول ۷۰ سانتیمتر بود. نمونه‌های کنترل پس از برش، شماره‌گذاری و تمیز گردیدند و بلافاصله توزین شدند. بعد برای اندازه‌گیری سرعت موج در جهت طولی تخته‌ها سه سوراخ در دو طرف به طول ۱ سانتیمتر و قطر ۰/۵ سانتیمتر در دو سطح (فوقانی و تحتانی) و مرکز تخته‌ها ایجاد شد. سوراخ‌های دو سطح ۱ سانتیمتر از لبه‌ها فاصله داشت، بعد این نمونه‌های کنترل در داخل بار کوره جاسازی شدند. نحوه سوراخ‌زنی در نمونه‌های کنترل در شکل ۱ نشان داده شده است.



شکل ۱ نحوه قرار گرفتن سوراخ‌ها در نمونه‌های کنترل

محاسبه رطوبت جاری نمونه کنترل:

در برنامه‌های رطوبت پایه مبنای اصلی تعویض گامهای برنامه طی فرآیند خشک شدن، رطوبت متوسط چوبهای کوره می‌باشد. برای اندازه‌گیری رطوبت جاری چوبها طی خشک شدن، در فواصل زمانی معینی نمونه‌های کنترل از کوره خارج و با ترازویی با دقت ۱۰ گرم توزین شدند. آنگاه با استفاده از رابطه ۱ رطوبت جاری هر نمونه کنترل محاسبه می‌شود.

رابطه ۱ فرمول محاسبه رطوبت جاری هر نمونه کنترل

$$\text{رطوبت جاری (\%)} = \frac{M_1 - M_2}{M_2} \times 100$$

M_1 = وزن جاری نمونه کنترل (گرم)

M_2 = وزن خشک محاسبه شده (گرم)

روند اجرای برنامه‌ها:

مطابق روش پیشنهادی FPL، گام شروع برنامه بر اساس رطوبت اولیه بار کوره آغاز گردید و برنامه تا رسیدن رطوبت بار به متوسط رطوبت نهایی ادامه داشت. به منظور تعیین شرایط جدید برنامه در مراحل اجرایی کار، توزین روزانه نمونه‌های کنترل صورت گرفت که با توجه به سرعت خشک شدن و کاهش رطوبت، تعداد مرتبه‌ها اندازه‌گیری می‌تواند بیشتر شود. بعد از توزین رطوبت جاری بار محاسبه و گام دیگر برنامه بر اساس میانگین رطوبت نمونه‌ها اجرا گردید.

اندازه‌گیری سرعت موج التراسونیک:

برای اندازه‌گیری سرعت موج از دستگاه Sylva test-Duo که ساخت کشور فرانسه می‌باشد استفاده گردید. اندازه‌گیری سرعت موج هر ۲۴ ساعت یک بار و هم‌زمان با محاسبه رطوبت جاری صورت گرفت.

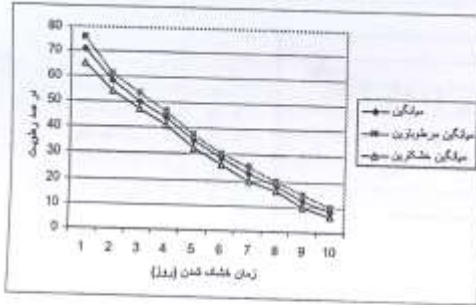
تجزیه و تحلیل داده‌ها:

به منظور بررسی رابطه بین رطوبت و سرعت موج در هر بار کوره پس از تأیید تبعیت داده‌ها از توزیع نرمال به وسیله آزمون کولموگروف اسمیرنف (one sample k-s) از تحلیل رگرسیون حداقل مربعات (Least Squares Regression) استفاده گردید. پس از تحلیل رگرسیون و محاسبه مقادیر ضریب تبیین و F محاسبه-ای مقدار P.Value، بهترین مدل رگرسیونی مشخص گردید و مقادیر ثابت رگرسیونی و ضرایب این معادله ارائه شد.

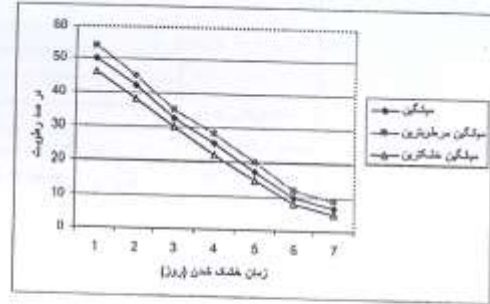
نتایج

تغییرات رطوبت جاری چوبهای بار کوره:

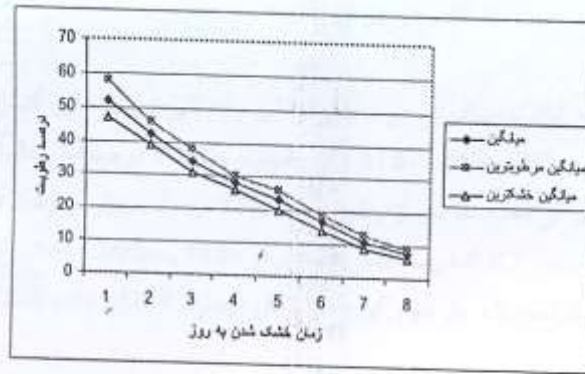
پس از توزین نمونه‌های کنترل و تعیین رطوبت جاری آنها، رطوبت جاری هر نمونه کنترل محاسبه گردید. متوسط رطوبت نمونه‌های کنترل شاخص رطوبت چوبهای بار بوده است. برای تعیین گام جدید برنامه نیز از متوسط مرطوب‌ترین نمونه‌های کنترل استفاده گردید. روند کاهش رطوبت چوب بار کوره طی زمان در حین خشک شدن، در منحنی شکل‌های ۲ تا ۴ ترسیم شده است.



شکل ۳ کاهش رطوبت چوب های بار دوم کوره
با برنامه T8-B3



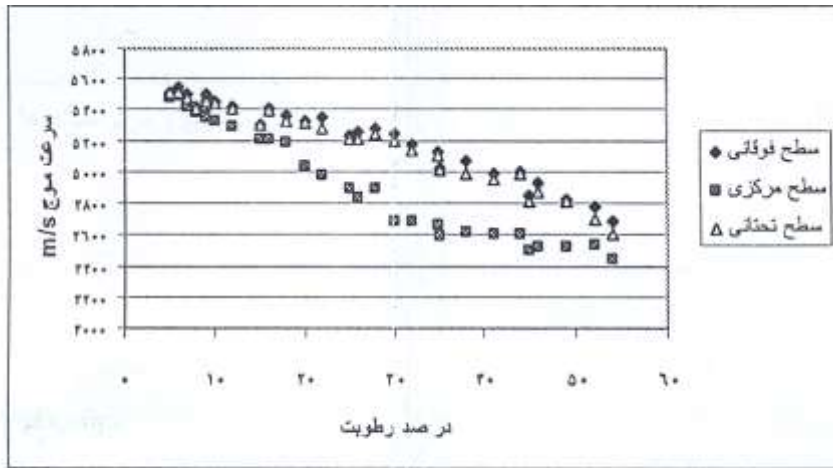
شکل ۳ کاهش رطوبت چوب های بار اول کوره
با برنامه T7-E6



شکل ۴ کاهش رطوبت چوب های بار سوم کوره
با برنامه T7-B4

رابطه بین سرعت موج التراسونیک و میزان رطوبت (MC):

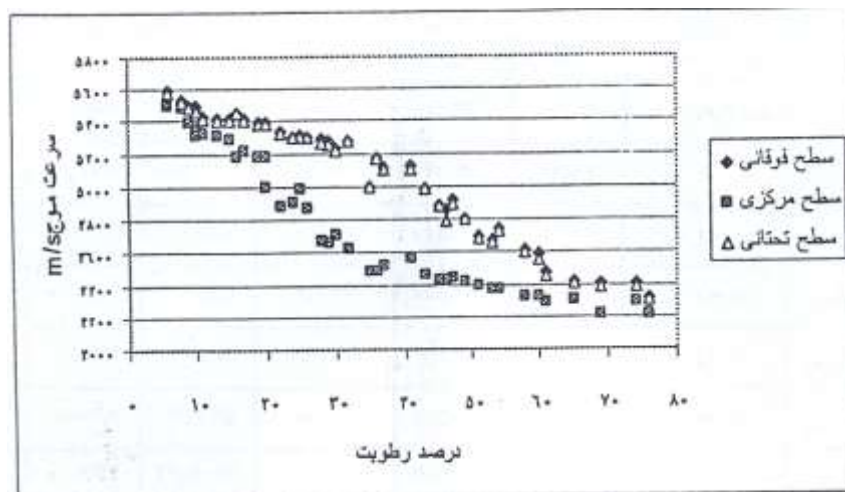
رابطه بین سرعت موج التراسونیک و میزان رطوبت نمونه‌های کنترل در بار اول کوره در شکل شماره ۵ نشان داده شده است. سرعت موج التراسونیک در دو سطح فوقانی و تحتانی نمونه‌ها با کاهش رطوبت از ۵۵ تا ۳۰ درصد به طور فزاینده‌ای افزایش یافته و این افزایش از میزان ۶۶۰۰ به ۵۳۰۰ m/s بوده است و از این رطوبت ۳۰ تا ۵ درصد این افزایش سرعت موج التراسونیک از ۵۳۰۰ به ۵۵۵۰ m/s به آرامی بوده است. در مرکز نمونه‌ها این مسأله به صورت عکس می‌باشد بدین ترتیب که افزایش سرعت موج با کاهش رطوبت از ۵۵ تا ۳۰ درصد به آرامی و مقدار آن از ۴۵۰۰ به ۴۷۰۰ m/s و از رطوبت ۳۰ تا ۵ درصد افزایش سرعت موج شدیدتر و مقدار آن از ۴۷۰۰ به ۵۵۰۰ m/s بوده است.



شکل ۵ مقادیر سرعت موج اوتراسونیک و میزان رطوبت در دو سطح و مرکز نمونه ها در بار اول کوره

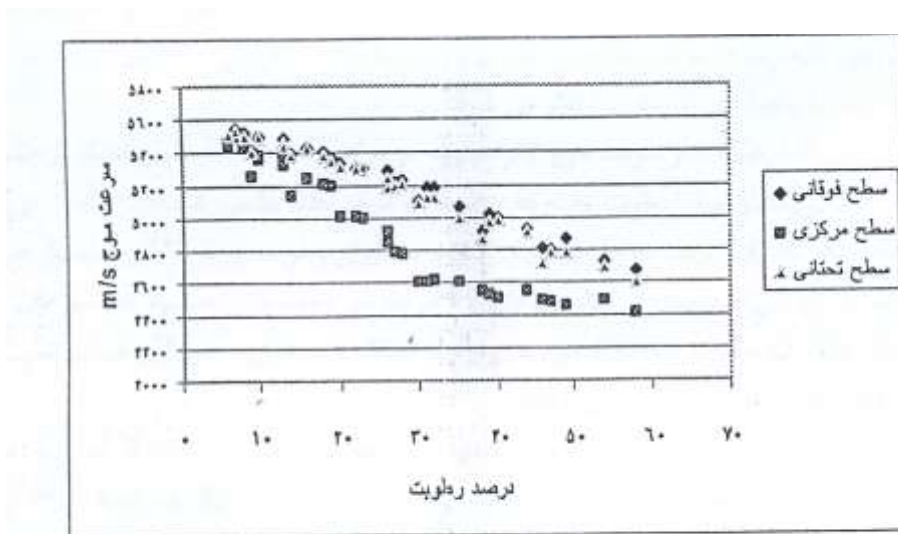
در بار دوم کوره نیز سرعت موج التراسونیک در دو سطح فوقانی و تحتانی نمونه‌های کنترل با کاهش رطوبت از ۷۲ تا ۳۰ درصد مقدار آن از ۴۳۰۰ به ۵۲۵۰ m/s و از رطوبت ۳۰ تا ۶ درصد این مقدار از ۵۲۵۰ به ۵۶۰۰ m/s افزایش یافته است. در مرکز تخته‌ها نیز از رطوبت ۷۲ تا ۳۰ درصد مقدار سرعت موج التراسونیک از ۴۲۰۰ به ۴۶۵۰ m/s و از رطوبت ۳۰ تا ۶ درصد این مقدار از ۴۶۵۰ به ۵۵۰۰ m/s افزایش یافته است. مقادیر رطوبت و سرعت موج التراسونیک بار دوم کوره در شکل ۶ نشان داده شده است.

در بار سوم کوره نیز سرعت موج التراسونیک در دو سطح فوقانی و تحتانی نمونه‌های کنترل با کاهش رطوبت از ۵۲ به ۳۰ درصد مقدار آن از ۴۶۰۰ به ۵۲۰۰ m/s و از رطوبت ۳۰ تا ۶ درصد این مقدار از ۵۲۰۰ به ۵۵۴۰ m/s افزایش یافته است. در مرکز تخته‌ها نیز از رطوبت ۵۲ تا ۳۰ درصد مقدار سرعت موج التراسونیک از ۴۲۵۰ به ۴۸۰۰ m/s و از رطوبت ۳۰ تا ۶ درصد این مقدار از



شکل ۶ مقادیر سرعت موج اوتراسونیک و میزان رطوبت در دو سطح و مرکز نمونه ها در بار دوم کوره

۴۸۰۰ به ۵۴۵۰ m/s افزایش یافته است. مقادیر رطوبت و سرعت موج التراسونیک در شکل ۷ نشان داده شده است.



شکل شماره ۷ مقادیر سرعت موج التراسونیک و میزان رطوبت در دو سطح و مرکز نمونه ها در بار سوم کوره

همچنین نتایج نشان دهنده وجود یک رابطه درجه دو بین رطوبت و سرعت موج التراسونیک در تمامی نمونه‌های سه بار کوره می‌باشد که در جدول ۱ آورده شده است.

جدول ۱- نتایج آزمون همبستگی بین درصد رطوبت با سرعت موج اولتراسونیک در سه بار کوره

c	b	a	p	F	R ²	تابع رگرسیونی	سطوح	بار
-3×10^{-5}	۰/۲۵۶۸	-۴۷۱/۴۵	۰/۰۰۰	۶۹۸/۳۳**	۰/۹۶۶	درجه دو	فوقانی	بار اول کوره
$-2/5 \times 10^{-5}$	-۰/۲۹۳۸	۸۵۵/۷۷۸	۰/۰۰۰	۳۴۳/۴۶**	۰/۹۶۱	درجه دو	مرکزی	
-3×10^{-5}	۰/۲۴	-۴۳۱/۵۱	۰/۰۰۰	۶۷۳/۴۷**	۰/۹۷۶	درجه دو	تحتانی	
-1×10^{-5}	۰/۰۷۸۵	-۲۳/۸۲۶	۰/۰۰۰	۴۹۵/۵۲**	۰/۹۷۴	درجه دو	فوقانی	بار دوم کوره
$-4/2 \times 10^{-5}$	۰/۴۵۳۲	۱۲۲۸/۸۱	۰/۰۰۰	۱۹۲/۶۵**	۰/۹۴۹	درجه دو	مرکزی	
-1×10^{-5}	۰/۰۷۹۴	۲۶/۷۳۵	۰/۰۰۰	۵۶۳/۸۲**	۰/۹۷۳	درجه دو	تحتانی	بار سوم کوره
-1×10^{-5}	۰/۰۵۳۴	۳۹/۶۰۵۳	۰/۰۰۰	۳۵۸/۸۶**	۰/۹۷۲	درجه دو	فوقانی	
$-2/7 \times 10^{-5}$	۰/۳۰۳۵	۸۶۵/۴۸۶	۰/۰۰۰	۳۱۰/۰۱**	۰/۹۳۰	درجه دو	مرکزی	
-1×10^{-5}	۰/۰۵۶۴	۲۳/۴۷۵۸	۰/۰۰۰	۵۰۳/۲۰	۰/۹۷۵	درجه دو	تحتانی	

فرمول تابع رگرسیونی درجه دو $y = a + bx + cx^2$ بوده و علامت ** معرف وجود رابطه آماری معنی دار در سطح احتمال ۹۹ درصد است.

Y رطوبت، X سرعت موج التراسونیک

نتیجه گیری:

نتایج سه بار کوره در شکل‌های ۵ تا ۷ نشان می‌دهد که سرعت موج التراسونیک در سطح فوقانی و تحتانی تخته‌ها با کاهش رطوبت تا نقطه اشباع الیاف به طور فزاینده‌ای افزایش و از نقطه اشباع الیاف به پایین‌تر این افزایش به آرامی صورت می‌گیرد. اما در مرکز تخته‌ها با کاهش رطوبت تا نقطه اشباع الیاف افزایش سرعت موج به آرامی و از ۳۰ درصد به پایین این افزایش شدیدتر می‌شود.

در رطوبت‌های پایین ۵ درصد مقدار سرعت موج التراسونیک در مرکز و سطح تخته‌ها به یکدیگر نزدیک می‌شوند که این امر بیانگر یکسان بودن رطوبت تخته‌ها در سطح و مرکز تخته‌ها می‌باشد.

نتایج این مطالعه نشان داد که سرعت موج التراسونیک نسبت به میزان رطوبت چوب بار کوره بسیار حساس می‌باشد، به گونه‌ای که این حساسیت در رطوبت بالای ۳۰ درصد نیز وجود دارد. معمولاً سنسورهای مورد استفاده در آزمون‌های غیر مخرب^۱ (NDE) کوره‌های چوب خشک‌کنی چنین حساسیتی ندارد و رطوبت بالای نقطه اشباع الیاف را نشان نمی‌دهند.

نتایج این مطالعه برای طرح‌های بعدی بسیار دلگرم‌کننده می‌باشد. این نتایج فقط از ۳ بار کوره و در مورد گونه نمدار بدست آمده است. بنابراین برای تعیین رابطه بین سرعت موج التراسونیک و رطوبت MC در گونه‌های دیگر با همین شرایط باید آزمایش شود تا بتوان با توجه به سرعت موج التراسونیک تغییرات شرایط کوره‌های چوب خشک‌کنی پهن‌برگان را کنترل کرد.

منابع مورد استفاده:

- Gerhards, C. C. 1975. Stress wave speed and MOE of sweetgum ranging from 150 to percent moisture content forest Prod. J. 25: 51-57
- Huang, Y., AND S. Chen. 1996. Estimation of moisture content change in wood by tap ton non-destructive testing. Taiwan j. Forest Sci. 11 (41): 367-372
- James, W. L., R. S. Boon, AND W. M. Gallin. 1982. Using speed of sound in wood to monitor drying in a kiln. Forest Prod. J. 32 (9): 27-34
- Kabir. M. F., H. A. A. Sidek. W. M. Daud. 1997. Effect of moisture content and grain angle on the ultrasonic properties of properties of rubber wood. Holzforschung 51: 263-267
- Mishero, A. 1995. Uiterasonic velocity in wood and its moisture content. I. Effect of moisture gradients on Uiterasonic velocity in wood. 41 (6): 1086-1092
- Mishero, A. 1996. Uiterasonic velocity in wood and its moisture content. II. Uiterasonic velocity and avereg moisture content in wood during desorption (1): moisture content below the fiber saturation point. Makoza Gakkashi 42 (6): 612-617
- Simpson, W. T. 1998. Relationship between speed of sound and moisture content of red oak and hard maple during drying. Wood fiber Sci: 30 (4): 405-413

^۱ -Non-Destructive Evaluation

Relationship Between Moisture Content and Ultrasonic Wave Speed During Kiln Drying of Basswood Lumber

Ebrahimi G.¹, Mhjob H.² and Kazemi najafi S.³

Abstract:

Ultrasonic wave speed was measured in the longitudinal direction of Basswood on the top and bottom surfaces and center of lumbers during kiln drying in 3 Kiln load programs with final dry bulb of 80 °C and different relative humidities. On the surfaces, wave speed decreased rapidly with MC declining from green to FSP, but from FSP down to 7% moisture content wave speed did increased slowly.

In the center of lumber, with decreasing MC from green to FSP, wave speed increased slowly, but by reducing MC to 7%, wave speed was rapidly increased. 5% MC, on the three surface of lumber, wave speed had no drastic difference. Results indicated that ultrasonic wave speed and MC of wood show a parabolic relationship. Further, results have shown that measuring ultrasonic wave speed is an appropriate method to control kiln drying program for hardwood lumber.

Keyword: Basswood, ultrasonic wave, MC, FSP, speed.

¹ - Prof. Natural Resources Faculty, Tehran university- Emai: G.ebrahimi@yahoo.com

² - Graduate student, Natural Resources and Marine Sciences Faculty, Tarbiat Modarres University.

³ - Assistant Prf. Natural Resources and Marine Sciences Faculty, Tarbiat Modarres University.