

اندازه‌گیری رطوبت اشباع فیبر چوب با استفاده از روش گرماسنجی روبشی تفاضلی: اصول اندازه‌گیری و نتایج آزمایشگاهی

چکیده

در این تحقیق، به اصول اندازه‌گیری رطوبت اشباع فیبر (FSP) چوب با استفاده از گرماسنجی روبشی تفاضلی (DSC) پرداخته شد و نتایج آزمایشگاهی در مورد انواع گونه‌های چوبی و چوب‌های اصلاح شده ارائه شد. این روش اندازه‌گیری بر این تئوری استوار است که آب آزاد موجود در حفره‌های سلولی در اثر کاهش دما یخ‌زده ولی آب پیوندی یخ نمی‌زند. بنابراین، با استفاده از اندازه‌گیری آنتالپی ذوب چوب خیس منجمد شده می‌توان میزان FSP را تعیین کرد. در این شیوه میزان جذب یا آزاد شدن انرژی توسط نمونه اندازه‌گیری می‌شود، هنگامی که حرارت دیده یا خنک می‌شود. نتایج نشان داد که این روش اندازه‌گیری بسته به گونه چوبی ممکن است به میزان FSP بیشتر از ۳۰ درصد منجر شود. هر دو روش اصلاح حرارتی و استیلاسیون موجب کاهش FSP چوب شدند ولی در فرایند استیلاسیون همبستگی خطی بین درصد افزایش وزن (WPG) نمونه و کاهش FSP وجود نداشت.

واژگان کلیدی: رطوبت اشباع فیبر (FSP)، گرماسنجی روبشی تفاضلی (DSC)، اصلاح حرارتی، استیلاسیون.

اصغر طارمیان^۱

^۱ دانشیار گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران

مسئول مکاتبات:
tarmian@ut.ac.ir

تاریخ دریافت: ۹۵/۰۱/۲۰
تاریخ پذیرش: ۹۵/۰۴/۰۶

مقدمه

برای اولین بار Stamm (۱۹۵۰) آب موجود در چوب را به آب آزاد^۱ و آب پیوندی^۲ طبقه‌بندی کرد [۱]. سپس، آب پیوندی در دو طبقه مجزا یعنی آب پیوندی انجمادپذیر^۳ و آب پیوندی انجمادناپذیر^۴ تعریف شد [۲]. آب آزاد یا آب موئینی^۵ به آبی گفته می‌شود که در میکرو^۶ و ماکرومنافذ^۷ چوب قرار داشته و با گروه‌های

هیدروکسیل دیوار سلولی اتصالی ندارد [۳]. آب پیوندی انجمادناپذیر به گروه‌های هیدروکسیل سه پلیمر اصلی چوب به‌ویژه همی‌سلولزها پیوند خورده و در نانومنافذ^۸ یافت می‌شود. آب پیوندی انجمادپذیر با اتصالات ضعیف‌تر و با خوشه‌های آب^۹ بزرگ‌تر فقط به‌طور غیرمستقیم به محل‌های آب‌دوست پلیمرهای چوب متصل می‌شود [۳]. مطالعات انجام‌شده با روش گرماسنجی روبشی تفاضلی^{۱۰} (DSC) حاکی از عدم مشاهده آب پیوندی انجمادپذیر حتی در دمای انجماد C ۹۰- است [۴]. رطوبت اشباع فیبر^{۱۱} (FSP) عبارت است از مقدار رطوبتی از چوب که در آن حفره‌های سلولی خالی از آب آزاد ولی

¹ -Free water

² - Bound water

³ -Freezing bound water

⁴ -Non-freezing bound water

⁵ -Capillary water

⁶ -Microvoids

میکرومنافذ شامل منافذی مانند دریچه منافذ و منافذ موجود در غشای منافذ

به قطر ۵ نانومتر تا ۵ میکرومتر است

⁷ -Macrovoids

ماکرومنافذ شامل حفره‌های سلولی چوب به قطر ۵ تا ۲۰۰ میکرون و بیشتر

می‌باشد

⁸ -Nanovoids

نانومنافذ شامل منافذ موجود در دیوار سلولی با قطر کم‌تر از ۵ نانومتر است

⁹ -Water cluster

¹⁰ - Differential Scanning Calorimetry

¹¹ -Fiber saturation point

بین محققین بر سر میانگین رطوبت اشباع فیبر چوب وجود دارد. با توسعه تکنیک‌ها و تجهیزات آزمایشگاهی پیشرفته، تحقیقات جدیدی در ارتباط با اندازه‌گیری FSP انجام شده است. یکی از تکنیک‌های نسبتاً جدید اندازه‌گیری FSP، استفاده از گرماسنجی روبشی تفاضلی (DSC) است [۷، ۸]. در تحقیق حاضر سعی شد تا برای درک بهتر، شرح کاملی از اصول اندازه‌گیری FSP با این تکنیک با جزئیات بیشتری ارائه شده و علاوه بر آن نتایج اندازه‌گیری FSP گونه‌های چوبی مختلف با این روش گزارش شود. یکی دیگر از اهداف تحقیق حاضر، بررسی تأثیر اصلاح حرارتی چوب‌های نوئل و بلوط بر میزان آن‌ها و نیز تعیین ارتباط بین میزان افزایش وزن (WPG) ناشی از فرایند استیلاسیون چوب و کاهش FSP آن بود. تحقیقات متعدد نشان داده است که میزان FSP بسته به نوع گونه، میزان ترکیبات شیمیایی و مواد استخراجی چوب و روش خشک‌کردن متغیر است [۷-۱۰]. در اثر اصلاح حرارتی به دلیل کاهش گروه‌های هیدروکسیل چوب ناشی از تخریب پلیمرهای چوب به‌ویژه همی‌سلولزها و اصلاح شیمیایی با جایگزینی گروه‌های هیدروکسیل چوب با گروه‌های آب‌گریز از میزان رطوبت تعادل آن کاسته می‌شود [۷].

مواد و روش‌ها

نمونه‌برداری

از گونه‌های چوبی راش (*Fagus sylvatica*)، بلوط (*Quercus sp.*)، نوئل (*Picea abies*)، چوب‌برون و چوب‌درون کاج جنگلی (*Pinus sylvestris*) استفاده شد.

اصلاح حرارتی

تخته‌های تازه بریده‌شده نوئل و بلوط با ضخامت اسمی ۲۰ میلی‌متر در یک کوره ترمووود مشابه فرایند تولید ترمو-S فنلاند تحت عملیات اصلاح حرارتی قرار گرفتند. در ابتدا، عملیات خشک‌کردن در دمای بالا انجام شد و برای این منظور دمای کوره به تدریج تا ۱۴۰ درجه سانتی‌گراد افزایش یافت. بعد از خشک‌کردن، دمای کوره

دیوارهای سلولی اشباع از آب پیوندی است [۱]. FSP را می‌توان میزان رطوبتی تعریف کرد که بالاتر از آن، خواص فیزیکی و مکانیکی چوب به‌صورت تابعی از رطوبت تغییر نمی‌کند [۲]. FSP به‌صورت مقدار آب موجود در دیوارسلولی اشباع از آب نیز تعریف می‌شود [۳]. با این‌وجود، تحقیقات متعدد حاکی از آن است که چوب ممکن است حاوی آب آزاد باشد درحالی‌که دیوارهای سلولی آن کاملاً اشباع از آب پیوندی نباشد [۴]؛ بنابراین، باید متذکر شد که واژه FSP مربوط به سلول‌های مجزای چوب است و نه الوار یا تخته. به علت اهمیت رطوبت اشباع فیبر و اثر آن بر خواص کاربردی چوب، تحقیقات متعددی در ارتباط با اندازه‌گیری FSP انجام شده است [۵-۸]. مقدار FSP برای اغلب گونه‌های چوبی در دامنه ۲۶ تا ۳۲ درصد بر مبنای وزن خشک چوب متغیر است [۵]. انرژی موردنیاز برای خروج آب پیوندی از دیوار سلولی بیشتر از مقدار این انرژی برای خروج آب آزاد از حفره‌های سلولی است. سلول چوبی تا وقتی که رطوبت آن به FSP نرسد دچار هم‌کشیدگی نمی‌شود و اغلب تغییرات قابل‌توجه در بسیاری از خواص فیزیکی و مکانیکی چوب در رطوبت کم‌تر از FSP شروع می‌شود. روش‌های متعددی برای اندازه‌گیری FSP وجود دارد که از آن جمله می‌توان به سوانگاری جزء حل‌شده^{۱۲} و صفحه فشار^{۱۳} اشاره کرد که به برآورد FSP به میزان بیشتر از ۴۰ درصد منجر می‌شود [۳]. مقدار FSP اندازه‌گیری شده با روش‌های مختلف ممکن است در دامنه ۱۳ الی ۷۰ درصد متغیر باشد [۶]. بر اساس تحقیقات متعدد گذشته و اندازه‌گیری این پارامتر فیزیکی با روش‌های مختلف مانند جذب هم‌دمای رطوبت تا رطوبت نسبی ۹۸ درصد و برون‌یابی در رطوبت نسبی ۱۰۰ درصد، روش‌های غیرمستقیم مانند اندازه‌گیری تغییرات هم‌کشیدگی، مقاومت مکانیکی و مقاومت الکتریکی چوب با تغییرات رطوبت آن، میزان متوسط FSP برای چوب برابر با ۳۰ درصد ذکر شده است که البته بسته به گونه چوبی این عدد اندکی تغییر می‌کند. بر این اساس، چون در اغلب تحقیقات گذشته، میزان FSP گزارش‌شده برای چوب در حدود ۳۰ درصد است، توافق معقولی در

^{۱۴} -Differential Scanning Calorimetry

^{۱۵} - Weight gain percentage

^{۱۲} - Solute exclusion

^{۱۳} -Pressure plate

چوب پی برد. آب پیوندی تغییر فازی در اثر فرایند ذوب کردن چوب خیس یخ زده از خود نشان نمی دهد.

روش آزمایشگاهی

برش نمونه ها و اشباع آن ها با آب مقطر

مراحل اندازه گیری FSP در شکل ۱ ارائه شده است. در ابتدا، بلوک های چوبی به ابعاد $5 \times 10 \times 1 (T \times L \times R)$ میلی متر با تیغ تیز بریده شدند و در یک آون خلأ در فشار صفر میلی بار و دمای 60°C درجه سانتی گراد به مدت ۲ ساعت خشک شدند. سپس، نمونه های خشک شده با آب مقطر تحت خلأ اشباع شدند. برای این منظور، خلأ ابتدایی به میزان صفر میلی بار به مدت ۳۰ دقیقه اعمال شد. سپس، آب مقطر با استفاده از سرنگ به داخل فلاسک حاوی نمونه ها تزریق شد. در نهایت، نمونه ها تحت فشار اتمسفری به مدت ۲ ساعت در آب غوطه ور شدند.

بارگذاری نمونه ها در دستگاه DSC و اجرای

برنامه

از یک دستگاه DSC جدید (مدل Q 2000) با قابلیت بارگذاری 50°C نمونه به طور هم زمان و سیستم خنک کننده خودکار بدون نیاز به نیتروژن مایع استفاده شد. نمونه های اشباع شده با استفاده از تیغ تیز به نمونه هایی با مقطع گرد مطابق با ابعاد پن های آلومینیومی دستگاه DSC بریده شد. پس از قرار دادن نمونه ها در داخل پن ها و پرس آن ها، با ترازویی با دقت $0.1/0$ میلی گرم توزین شده و در دستگاه DSC بارگذاری شدند. برنامه (توالی^{۱۶}) مورد استفاده در دستگاه DSC در شکل ۱ ارائه شده است. ابتدا نمونه ها در دمای 20°C درجه سانتی گراد یخ زده و به مدت ۵ دقیقه در این دما نگاه داشته شدند. سپس، با حرارت دهی پیوسته با سرعت $2^\circ\text{C}/\text{min}$ و سرعت جریان گاز نیتروژن برابر با $50 \text{ ml}/\text{min}$ دمای نمونه ها از 20°C به 20°C افزایش یافت تا فرایند ذوب آب آزاد یخ زده در نمونه ها رخ داده و بیک ناشی از تغییر فاز (ذوب) در منحنی DSC تشکیل شود. این توالی برای هر نمونه دو بار تکرار شد. بعد از اندازه گیری و محاسبه آنتالپی ذوب با استفاده از نرم افزار دستگاه DSC، پن ها از دستگاه خارج شده و با استفاده از سرنگ چندین سوراخ در درپوش هر

تا 180°C درجه سانتی گراد افزایش یافت و عملیات اصلاح حرارتی در این دما به مدت ۳ ساعت انجام گرفت. در نهایت، عملیات خنک کردن و متعادل سازی برای مدت ۲۴ ساعت انجام شد.

استیلاسیون

برای انجام عملیات استیلاسیون (استیل دار کردن)، نمونه های نوئل به ابعاد $10 \times 3 \times 15 (L \times T \times R)$ میلی - متر در ابتدا در آون خلأ در دمای 65°C درجه سانتی گراد به مدت ۲ ساعت خشک شدند. سپس، نمونه ها در داخل سه فلاسک شیشه ای قرار گرفته و خلأ مقدماتی به مدت ۳۰ دقیقه اعمال شد. پس از اعمال خلأ، ۴ میلی لیتر انیدرید اسید استیک همراه با ۱۶ میلی لیتر پیریدین به داخل فلاسک ها با سرنگ تزریق شده و نمونه ها به مدت یک ساعت در این محلول در دمای محیط غوطه ور شدند. سپس، فلاسک ها داخل ظرف حاوی روغن داغ در دمای 80°C درجه سانتی گراد برای مدت زمان های متفاوت 20 ، 45 و 90 دقیقه قرار گرفتند. پس از این مرحله، فلاسک ها از محلول اسیدی فوق تخلیه شده و متوقف کردن واکنش استیلاسیون با قرار دادن فلاسک ها در داخل یخ همراه با استن انجام شد. عملیات شستشو در ابتدا با استن و سپس با آب مقطر در شیکر چندین مرتبه انجام شد. سپس، نمونه های اصلاح شده در آون خلأ خشک شده و میزان افزایش وزن (WPG) محاسبه شد. میزان WPG برای سه مدت زمان متفاوت مذکور به ترتیب برابر با $17/2$ و $19/5$ درصد بود.

اندازه گیری FSP

تئوری

اندازه گیری FSP با استفاده از DSC بر این تئوری استوار است که آب آزاد موجود در حفره های سلولی چوب یخ می زند ولی آب پیوندی موجود در دیوارهای سلولی یخ نمی زند؛ بنابراین، وقتی چوب خیس در اثر کاهش دما یخ زده و سپس دمای آن در دستگاه DSC در اثر حرارت دهی افزایش یابد، بیک گرماگیر ناشی از ذوب آب آزاد در منحنی DSC قابل مشاهده خواهد بود. با محاسبه آنتالپی ذوب آب آزاد یخ زده می توان به میزان آب پیوندی (FSP)

تصحیح آنتالپی ذوب

به منظور تصحیح آنتالپی ذوب نمونه‌ها، برای هر تیمار یک پن حاوی آب مقطر نیز به عنوان نمونه شاهد بارگذاری شد تا با اندازه‌گیری آنتالپی ذوب آن، در صورت نیاز نسبت به تصحیح آنتالپی اندازه‌گیری شده نمونه‌ها اقدام کرد.

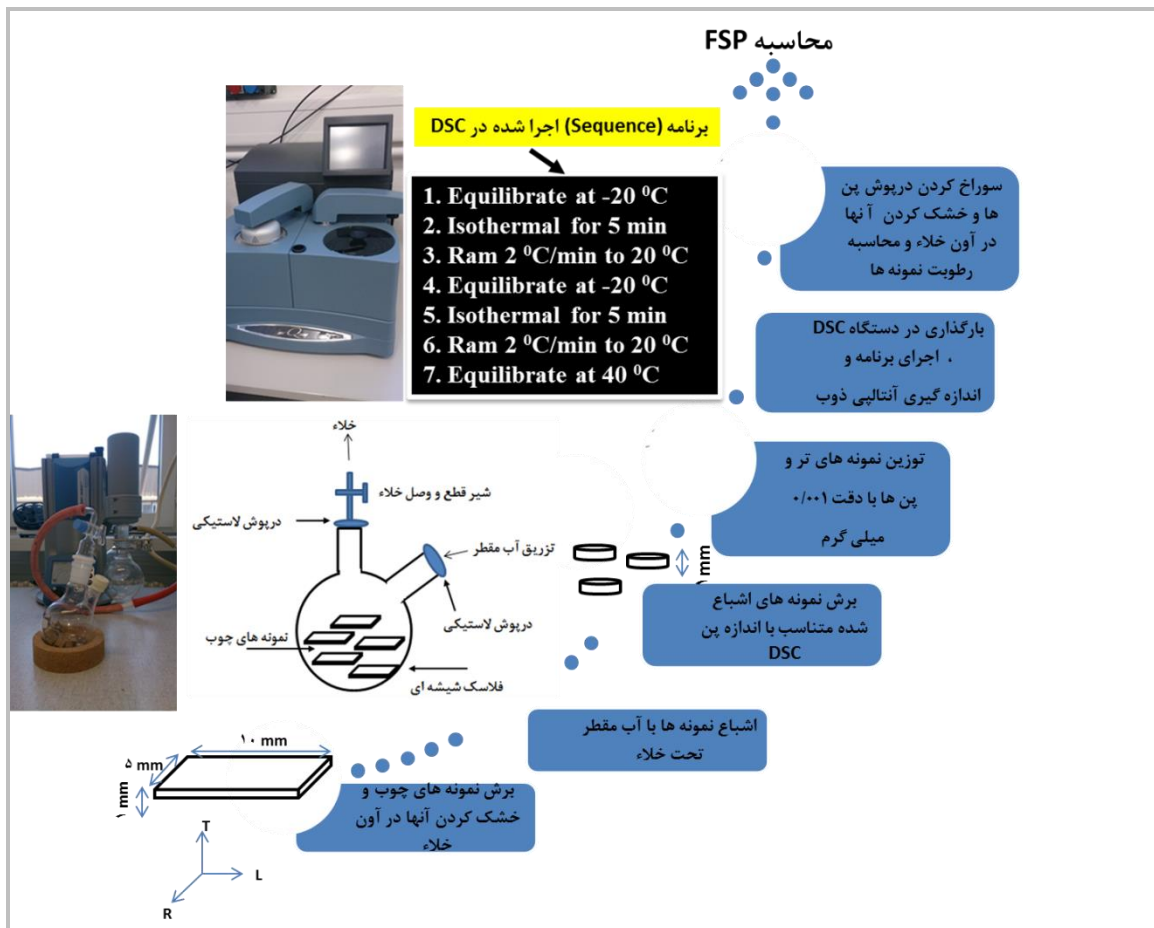
طرح آماری

در این تحقیق، از طرح کاملاً تصادفی استفاده شد. مقایسه معنی‌داری میانگین داده‌ها با آزمون چند دامنه دانکن در سطح ۵ درصد انجام شد. در مورد بررسی اثر اصلاح حرارتی بر رطوبت اشباع فیبر چوب از آزمون t مستقل استفاده شد. برای هر تیمار از ۵ تکرار استفاده شد.

یک از پن‌ها ایجاد شد. سپس، به منظور اندازه‌گیری میزان رطوبت نمونه‌ها، پن‌ها در یک آون خلأ در دمای 65°C به مدت ۲۴ ساعت خشک شدند. در نهایت، با استفاده از معادله ۱ رطوبت اشباع فیبر (FSP) محاسبه شد:

$$FSP(\%) = \frac{M_{total} - M_{dry} - \left(\frac{\Delta H \cdot M_{total}}{H_f}\right)}{M_{dry}} \quad (1)$$

در این معادله، M_{total} و M_{dry} به ترتیب وزن تر و خشک نمونه چوب (g)، $M_{total} - M_{dry}$ وزن آب موجود در چوب (مجموع آب آزاد و آب پیوندی)، ΔH آنتالپی ذوب آب آزاد یخ‌زده موجود در حفرات سلولی (J/g) و H_f آنتالپی ذوب آب است که برابر با 333.7 J/g است.



شکل ۱- شمایی از مراحل اندازه‌گیری FSP چوب به روش گرماسنجی روبشی تفاضلی (DSC)

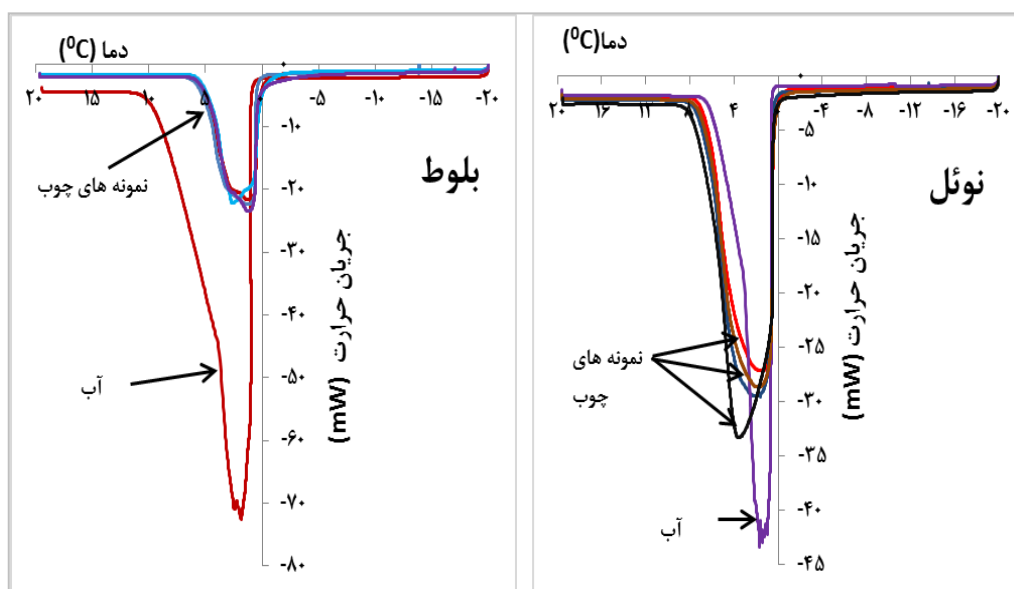
شده است که به هنگام اندازه‌گیری FSP با استفاده از DSC یک پیک گرماگیر کوچک معمولاً قبل از پیک اصلی ذوب تشکیل می‌شود [۷] ولی در تحقیق حاضر در

نتایج و بحث

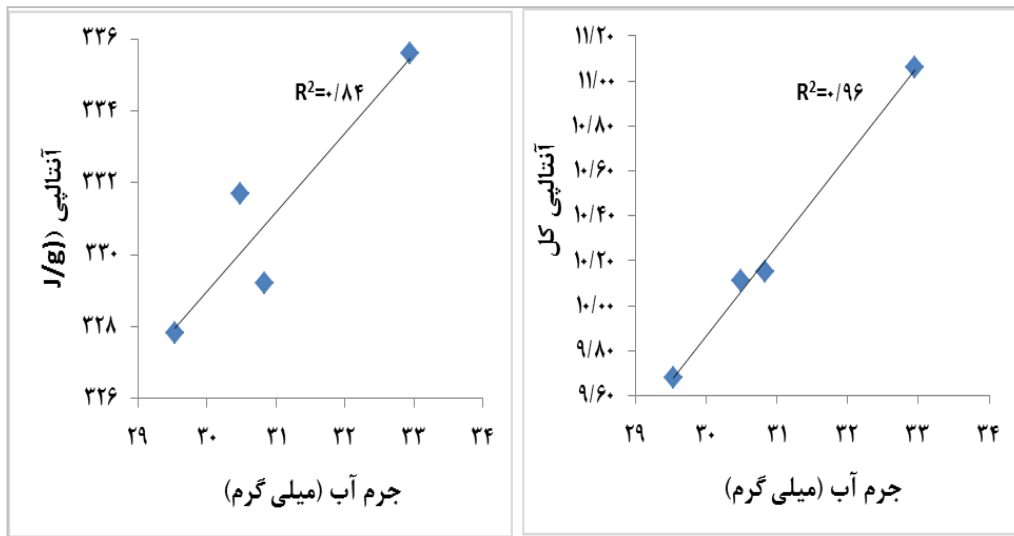
نمونه‌ای از منحنی DSC برای چوب‌های نوئل و بلوط در شکل ۲ ارائه شده است. در تحقیقات گذشته گزارش

شاید ناشی از تفاوت در دقت و روش اندازه‌گیری باشد. وزن خشک نمونه‌های چوب مورد استفاده در دامنه ۳/۳ الی ۱۱/۳ میلی‌گرم متغیر بود و نتایج نشان داد که تغییرات جزئی در وزن نمونه‌ها، نتایج اندازه‌گیری FSP را تحت تأثیر قرار نمی‌دهد. مقادیر FSP نمونه‌های مورد مطالعه در شکل ۴ نشان داده شده است. مقادیر FSP برای چوب‌های بلوط و راش از مقدار متوسط ۳۰ درصد بیشتر بود. چنین مقادیر FSP بالا با استفاده از روش DSC در تحقیقات گذشته نیز گزارش شده است [۷]. در مقابل، مقادیر اندازه‌گیری شده برای چوب‌های کاج و نوئل نزدیک به مقدار متوسط ۳۰ درصد بود؛ بنابراین، می‌توان نتیجه‌گیری کرد که تکنیک گرماسنجی روبشی تفاضلی همواره منجر به مقادیر FSP بالا نمی‌شود و نتایج بسته به گونه چوبی متفاوت است. برخلاف نتایج به دست آمده در این تحقیق، مقدار ۴۰-۴۲ درصد برای FSP چوب نوئل با استفاده از تکنیک صفحه فشار گزارش شده است [۳]. برخلاف انتظار، تفاوت معنی‌داری بین مقادیر FSP چوب-درون و چوب‌برون کاج جنگلی مشاهده نشد.

هیچ‌یک از نمونه‌ها چنین پیکی مشاهده نشد. سه دلیل احتمالی برای وقوع این پیک کوچک بیان شده است: (۱) لایه آب قرارگرفته بین آب آزاد و آب پیوندی انجمادپذیر، (۲) آب موجود در منافذ بسیار کوچک و (۳) آب موجود بین نمونه و پن آلومینیومی دستگاه DSC [۷]. در این تحقیق، برای کاهش احتمال تشکیل لایه آب بین نمونه چوب و پن، قبل از قرار دادن نمونه در داخل پن سعی شد آب اضافی موجود در سطح چوب پاک شود. همان‌طور که در شکل ۳ قابل مشاهده است، همبستگی خطی بالایی ($R^2 = 0/85$) بین وزن نمونه‌های آب و آنتالپی ذوب آن‌ها وجود دارد. آنتالپی ذوب اندازه‌گیری شده برای آب مقطر (در دامنه J/g ۳۲۷/۸ الی ۳۳۵/۶) بسیار نزدیک به مقادیر استاندارد آنتالپی ذوب آب (J/g ۳۳۳/۷) است، به طوری که ضریب تصحیح به دست آمده ($CF = 1/0.7244$) حاکی از کالیبره بودن دستگاه DSC و دقت بالای اندازه‌گیری است. مقدار آب مورد استفاده در پن‌های حاوی آب در دامنه ۲۹/۵ الی ۳۲/۹ میلی‌گرم متغیر بود. بنابراین، تفاوت تحقیق حاضر با تحقیقات گذشته [۷، ۸] در مشاهده پیک کوچک گرماگیر در منحنی DSC قبل از پیک اصلی ذوب



شکل ۲- منحنی DSC نمونه‌های چوب بلوط و نوئل



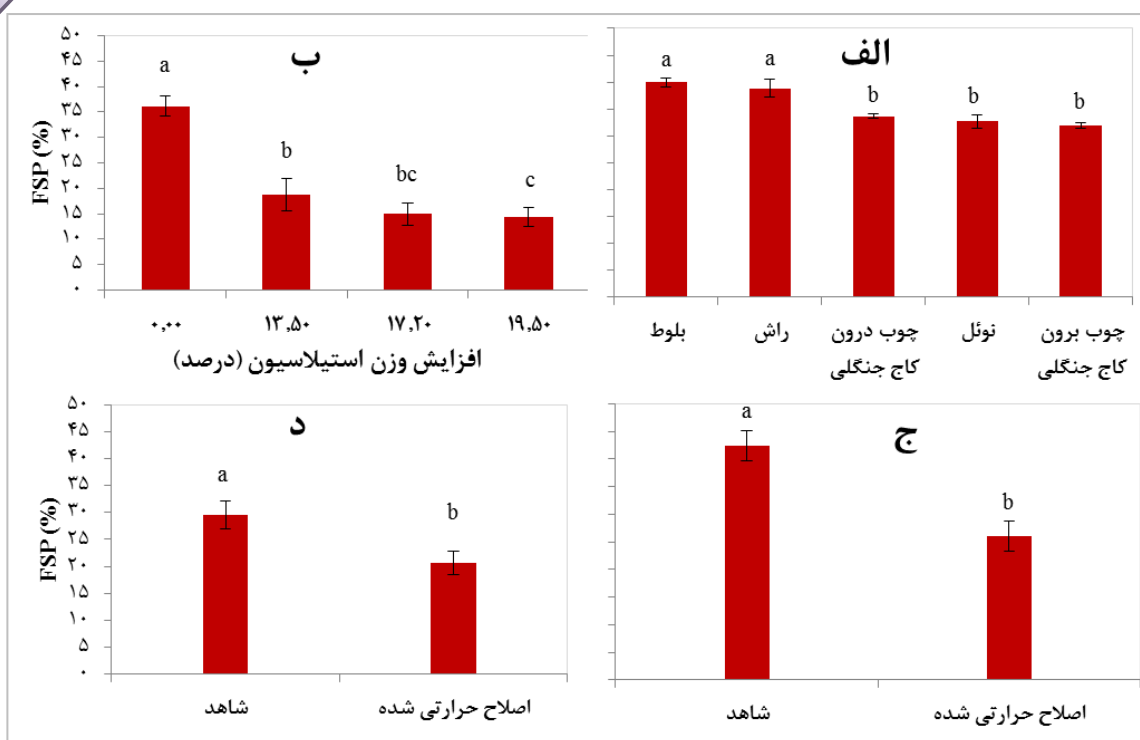
شکل ۳- همبستگی بین جرم نمونه‌های آب و آنتالپی ذوب آن‌ها برای تصحیح آنتالپی ذوب نمونه‌های چوبی

اثر استیلاسیون بر FSP

فرایند استیلاسیون چوب نوئل موجب کاهش FSP آن شد. همچنین، با افزایش WPG برداشت کاهش FSP افزوده شد (شکل ۴-ب). در اثر استیلاسیون و در مقادیر WPG برابر با ۱۳/۵، ۱۷/۲ و ۱۹/۵ درصد، به ترتیب ۴۷/۹، ۵۸/۶ و ۶۰/۳ درصد از میزان FSP چوب کاسته شد. به عبارت دیگر، در WPG برابر با ۱۳/۵ درصد، کاهش FSP برابر با ۱/۲۸ درصد به ازای یک درصد افزایش وزن نمونه بود. تفاوت معنی‌داری در سطح ۵ درصد بین FSP نمونه‌های استیل‌دار با WPG برابر با ۱۷/۲ و ۱۹/۵ درصد و نیز بین نمونه‌ها با WPG برابر با ۱۳/۵ و ۱۷/۲ درصد مشاهده نشد؛ بنابراین، می‌توان نتیجه‌گیری کرد که بین تغییرات FSP و WPG نمونه‌ها در اثر استیلاسیون همواره همبستگی خطی وجود ندارد. علت کاهش FSP در اثر استیلاسیون را می‌توان به کاهش گروه‌های هیدروکسیل چوب به علت جایگزینی این گروه عاملی با گروه استیل نسبت داد. عدم معنی‌داری در مقادیر FSP نمونه‌های استیل‌دار شده با WPG برابر با ۱۳/۵ و ۱۷/۲ درصد علی‌رغم تفاوت در میزان گروه‌های هیدروکسیل، با تحقیقات گذشته در ارتباط با رفتار رطوبت‌پذیری چوب تیمار شده با حرارت [۱۲] همخوانی داشته و مؤید این مسئله است که همواره بین حداکثر ظرفیت جذب رطوبت توسط دیواره‌های سلولی چوب (FSP) و میزان گروه‌های هیدروکسیل در دسترس چوب اصلاح‌شده همبستگی خطی وجود ندارد.

اثر اصلاح حرارتی بر FSP

در اثر اصلاح حرارتی از FSP چوب‌های نوئل و بلوط به ترتیب به میزان ۳۸/۴ و ۳۰ درصد کاسته شد (شکل ۴-ج). FSP چوب بلوط از ۴۲/۳ درصد به ۲۶/۱ درصد و چوب نوئل از ۲۹/۵ درصد به ۲۰/۷ درصد کاهش یافت. کاهش FSP چوب در اثر اصلاح حرارتی در تحقیقات گذشته نیز گزارش شده است [۷، ۹، ۱۰]. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده در این تحقیق و نتایج تحقیقات گذشته می‌توان نتیجه‌گیری کرد که همه روش‌های اصلاح حرارتی از میزان FSP چوب می‌کاهند ولی شدت کاهش آن بسته به روش و شرایط اصلاح حرارتی متفاوت است. تحقیقات حاکی از آن است که با افزایش دمای اصلاح حرارتی بر شدت کاهش FSP افزوده می‌شود [۹، ۱۱]. علت کاهش FSP چوب در اثر اصلاح حرارتی را می‌توان به تخریب برگشت‌ناپذیر همی‌سلولزها و سلولز و در نتیجه کاهش گروه‌های هیدروکسیل در دسترس چوب نسبت داد. با این وجود، در یکی از تحقیقات جدید و برخلاف انتظار و باور عمومی گزارش شده است که همواره همبستگی خطی بین رطوبت تعادل چوب اصلاح حرارتی شده و میزان گروه‌های هیدروکسیل در دسترس آن وجود ندارد [۱۲]؛ بنابراین، می‌توان نتیجه‌گیری کرد که عوامل دیگری به جز کاهش گروه‌های هیدروکسیل چوب در کاهش جذب رطوبت توسط چوب در اثر اصلاح حرارتی دخالت دارند.



شکل ۴-FSP گونه‌های چوبی مختلف (الف)، چوب نوئل استیل دار شده با WPG متفاوت (ب)، چوب بلوط شاهد و اصلاح حرارتی شده (ج) و چوب نوئل شاهد و اصلاح حرارتی شده (د)

نتیجه‌گیری

پیک اصلی ذوب در منحنی DSC همراه نمی‌شود؛ ۳- هر دو روش اصلاح حرارتی و استیل‌اسیون منجر به کاهش محسوس FSP شدند و فرایند استیل‌اسیون تأثیر بیشتری در مقایسه با اصلاح حرارتی داشت. در فرایند استیل‌اسیون، با افزایش WPG بر شدت کاهش FSP افزوده شد. در مجموع می‌توان نتیجه‌گیری کرد که همواره همبستگی خطی بین میزان گروه‌های هیدروکسیل در دسترس چوب و حداکثر ظرفیت جذب رطوبت توسط دیواره‌های سلولی آن (FSP) وجود ندارد و عوامل دیگری علاوه بر اثر میزان گروه‌های هیدروکسیل بر حداکثر جذب رطوبت توسط دیواره‌های سلولی چوب دخالت دارند. پیشنهاد می‌شود در تحقیقات بعدی اثرات پارامترهای مختلف روش گرماسنجی روبشی تفاضلی بر دقت اندازه‌گیری FSP مورد بررسی قرار گیرد.

سپاسگزاری

تحقیق حاضر بخشی از پروژه فرصت مطالعاتی در دانشگاه ETH و EMPA زوریخ سوئیس بود. از همکاری صمیمانه Prof. Ingo Burgert مدیر گروه چوب دانشگاه

در این تحقیق، از روش گرماسنجی روبشی تفاضلی (DSC) و با استفاده از اندازه‌گیری آنتالپی ذوب چوب خیس یخ‌زده برای اندازه‌گیری رطوبت اشباع فیبر (FSP) استفاده شد. این روش اندازه‌گیری بر پایه تئوری عدم انجماد آب پیوندی استوار است و در نتیجه پیک تغییر فاز (ذوب) مشاهده شده در منحنی DSC صرفاً متعلق به انرژی مورد نیاز برای ذوب کردن آب آزاد یخ‌زده در حفره‌های سلولی است. با توجه به نتایج به دست آمده در این تحقیق، می‌توان نتیجه‌گیری کرد که ۱- اندازه‌گیری FSP با استفاده از DSC بسته به گونه چوبی ممکن است به مقادیر FSP بیشتر از ۳۰ درصد منجر شود که حاکی از خطای اندازه‌گیری FSP با استفاده از این تکنیک برای برخی گونه‌ها به دلایل ناشناخته است. میزان FSP در چوب‌های راش و بلوط بیشتر از چوب‌های کاج جنگلی و نوئل بود ولی برخلاف انتظار تفاوت معنی‌داری بین FSP چوب‌درون و چوب‌برون کاج جنگلی مشاهده نشد؛ ۲- اندازه‌گیری FSP با استفاده از تکنیک گرماسنجی روبشی تفاضلی همواره با وقوع یک پیک کوچک گرماگیر قبل از

روابط بین‌الملل این دانشگاه و همه عزیزانی که زمینه انجام فرصت مطالعاتی اینجانب را فراهم نمودند، بی‌نهایت سپاسگزاری می‌گردد.

Dr. Emil Engelund و ETH از اعضای این گروه تقدیر و تشکر می‌شود. از مدیریت و شورای محترم گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ دانشگاه تهران و نیز معاونت محترم

منابع

- [1] Stamm, A.J., 1950. Bound water and hydration. Technical Association of the Pulp and Paper Industry (TAPPI), 33:435–439.
- [2] Berthold, J., Rinaudo, M. and Salmen, L., 1996. Association of water to polar groups; estimations by an adsorption model for lignocellulosic materials. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 112:117–129.
- [3] Thygesen, L.G., Engelund, E. and Hoffmeyer, P., 2010. Water sorption in wood and modified wood at high values of relative humidity. Part I: Results for untreated, acetylated, and furfurylated Norway spruce. *Holzforschung*, 64:315–323.
- [4] Berthold, J., Desbrie`res, J., Rinaudo, M. and Salme´n, L., 1994. Types of adsorbed water in relation to the ionic groups and their counter- ions for some cellulose derivatives. *Polymer*, 35:5729–5736.
- [5] Skaar, C., 1988. *Wood-Water Relations*, Springer, Berlin, Heidelberg, Germany, 283 p.
- [6] Babiak M. and Kudela J., 1995. A contribution to the definition of the fiber saturation point. *Wood Science and Technology*, 29:217-226.
- [7] Zauer M., Kretschmar J., Großman L., Pfriem A. and Wagenfuhr A., 2014. Analysis of the pore-size distribution and fiber saturation point of native and thermally modified wood using differential scanning calorimetry. *Wood Science and Technology*, 48:177–193.
- [8] Simpson LA. and Barton A.F.M., 1991. Determination of the fibre saturation point in whole wood using differential scanning calorimetry. *Wood Science and Technology*, 25:301-308.
- [9] Almedia, G., Brtio, J.O. and Perre, P., 2009. Changes in wood-water relationship due to heat treatment assessed on micro-samples of three Eucalyptus species. *Holzforschung*, 63(1):80-88
- [10] Zanuncio A.J.V., Motta J.P., Silveira T.A., Farias E. and Trugilho, P.F., 2014. Physical and Colorimetric Changes in Eucalyptus grandis Wood after Heat Treatment. *Bioresources*, 9(1):293-302.
- [11] Repellin V. and Guyonnet R., 2005. Evaluation of heat-treated wood swelling by differential scanning calorimetry in relation to chemical composition. *Holzforschung*, 59:28–34.
- [12] Rautkari, L., Hill, C.A.S., Curling, S, Jalaludin, Z. and Ormondroyd, G., 2013. What is the role of the accessibility of wood hydroxyl groups in controlling moisture content. *Journal of Material Science*, 48:6352–6356.

Measurement of fiber saturation point of wood using differential scanning calorimetry: measurement fundamentals and experimental results

Abstract

In this research, fundamentals of measuring the fiber saturation point (FSP) using differential scanning calorimetry (DSC) method were explained. This method is based on the assumption that free water is frozen but bound water remains unfrozen in low temperatures. Thus, the FSP can be calculated by measuring the enthalpy of melting of frozen wet samples. This method measures the amount of energy absorbed or released by a sample when it is heated or cooled. Results showed that the DSC method may yield a higher FSP value compared with the widely accepted value of 30%, depending on the wood species. Both thermal and chemical (acetylation) modification methods reduced the FSP but in the acetylation method, there was no linear correlation between the weight gain percentage and FSP.

Keywords: fiber saturation point (FSP), differential scanning calorimetry (DSC), thermal modification, acetylation.

A. Tarmian¹

¹ Associate professor, Department of Wood and Paper Science & Technology, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran

Corresponding author:

tarmian@ut.ac.ir

Received: 2016/04/08

Accepted: 2016/06/26