

## اثر اشباع چوب صنوبر با روغن سویای اپوکسی بر بازگشت فشردگی

مریم قاسمی<sup>۱</sup>

فروغ دستوریان<sup>۲\*</sup>

رئوفه عابدینی<sup>۳</sup>

سید مجتبی امینی نسب<sup>۴</sup>

<sup>۱</sup> دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی چوب و فرآورده‌های سلولزی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ایران

<sup>۲</sup> استادیار، گروه مهندسی چوب و فرآورده‌های سلولزی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ایران

<sup>۳</sup> استادیار، گروه مهندسی چوب و فرآورده‌های سلولزی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ایران

<sup>۴</sup> استادیار، گروه شیمی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه کردستان، ایران

مسئول مکاتبات:

[f.dastoorian@sanru.ac.ir](mailto:f.dastoorian@sanru.ac.ir)

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱۰/۱۷

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۱۱/۱۳

### چکیده

نظر به کمبود منابع چوبی در کشور و تمایل روزافزون به استفاده از این منابع به-عنوان مصالح ساختمانی، فشردگی چوب‌های گونه‌های زراعی تند رشد به‌منظور بهبود خواص فیزیکی و مکانیکی آنها امری اجتناب‌ناپذیر است. در تحقیق حاضر چوب صنوبر با روغن سویا خام و اپوکسی اشباع و به میزان ۳۰ درصد فشردگی گردید. از اصلاح گرمایی به‌منظور غلبه بر مشکل بازیابی شکل چوب فشردگی استفاده شد. نتایج آزمون بازگشت فشردگی نشان داد که مقدار بازگشت فشردگی نمونه‌های اشباع‌شده با روغن اپوکسی کمتر از مقدار بازگشت فشردگی نمونه اشباع‌شده با روغن خام بود. اصلاح گرمایی در هر یک از نمونه‌های اشباع‌شده با روغن خام و اپوکسی، بازگشت فشردگی را به ترتیب ۴۶ و ۶۳ درصد کاهش داد. نتایج آزمون جذب آب نشان داد که اشباع چوب در سطوح غیر فشردگی با روغن موجب کاهش جذب آب شد که این اثر در حضور روغن اپوکسی محسوس‌تر بود. به‌طور کلی جذب آب نمونه‌های فشردگی بیشتر از نمونه‌های شاهد بود و اصلاح گرمایی به کاهش جذب آب منجر گردید. از تصاویر میکروسکوپ الکترونی و روش طیف‌سنجی زیر قرمز تبدیل فوریه برای تحلیل نتایج آزمون بازگشت فشردگی استفاده شد.

**واژگان کلیدی:** فشردگی، روغن سویا، بازگشت فشردگی، اصلاح گرمایی.

### مقدمه

چوب یکی از قدیمی‌ترین مصالح ساختمانی است که توسط بشر در ساخت‌وساز مورد استفاده قرار گرفته است و به دلیل دارا بودن ماهیت طبیعی، تجدید پذیری و همچنین ملاحظات زیست‌محیطی همچون تغییرات اقلیمی و افزایش گرمای جهانی ناشی از تولید دی‌اکسید کربن توسط سوخت‌های فسیلی، مصرف آن رو به افزایش است. چوب به دلیل برخورداری از مزایایی مانند مقاومت ویژه بالا و قابلیت اصلاح در ساخت سازه‌های ساختمانی مورد توجه است.

علی‌رغم ویژگی‌های مطلوب ذکرشده، این ماده دارای ویژگی‌های محدودکننده‌ای از قبیل عدم ثبات ابعاد در اثر

جذب رطوبت و زیست‌تخریب‌پذیری می‌باشد [۱]. نظر به کمبود منابع چوبی در کشور و تمایل روزافزون به استفاده از آن به‌عنوان مصالح ساختمانی، استفاده از گونه‌های زراعی تند رشد و سبک که سازگار با تغییرات اقلیم نیز می‌باشند و بهبود خواص فیزیکی و مکانیکی آنها امری اجتناب‌ناپذیر به نظر می‌رسد. فشردگی یا به عبارتی تغییر شکل دائمی سلول‌های چوبی، روشی برای بهبود خواص مکانیکی چوب‌های سبک و توسعه محصولاتی با ارزش افزوده پایدار محسوب می‌شود [۲].

مشکل اساسی چوب‌های فشردگی، بازیابی شکل آن پس از حذف بار و اثر حافظه شکلی است که با آزاد شدن تنش‌های داخلی ایجادشده در سلول‌های چوبی حین

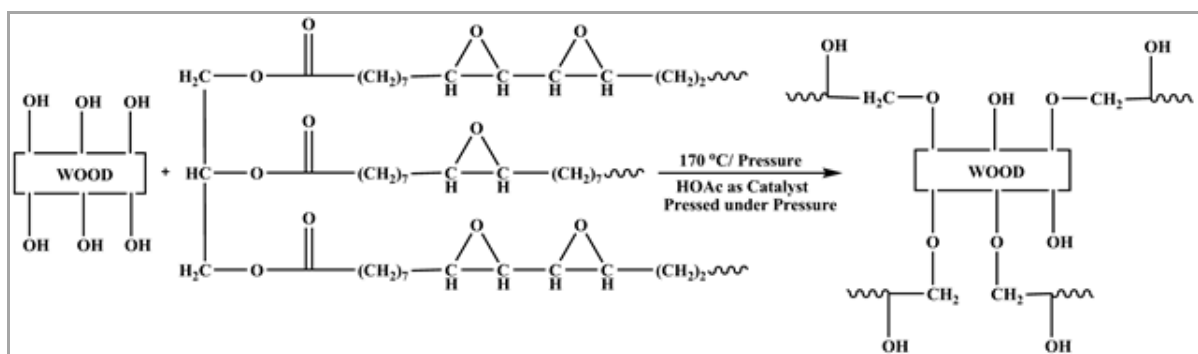
در مصارف صنعتی جایگاه ویژه‌ای پیدا کرده‌اند. همچنین به دلیل قابلیت برقراری پیوندهای عرضی در تولید رزین‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند [۱۰]. با استفاده از روغن‌های گیاهی عامل دار برای اصلاح چوب، می‌توان محصولاتی با کیفیت، ارزشمند و سازگار با محیط‌زیست برای کاربردهایی با ارزش بالا از قبیل چوب‌های نجاری، مبلمان باغی و پرچین‌های با کیفیت بالا تولید کرد. گروه‌های عاملی روغن عامل دار با گروه‌های هیدروکسیل چوب واکنش داده و علاوه بر بهبود خواص فیزیکی به بهبود مقاومت‌های مکانیکی چوب می‌انجامد [۱۱-۱۲].

روغن سویا یکی از مهم‌ترین روغن‌های گیاهی در سطح جهان است که به دلیل پیوندهای دوگانه بیشتر نسبت به روغن کلزا از قابلیت اپوکسی‌دار شدن بالاتری برخوردار است [۱۳]. در فرآیند اپوکسی‌دار کردن روغن سویا، پیوندهای دوگانه گسسته شده و در محل پیوند باز شده یک اتم اکسیژن قرار گرفته و حلقه اکسیران تشکیل می‌شود [۱۴].

روغن سویای اپوکسی با داشتن گروه‌های عاملی اپوکسی قابلیت واکنش و برقراری پیوند شیمیایی با گروه‌های هیدروکسیل چوب را خواهد داشت. شمای پیشنهادی واکنش روغن سویای اپوکسی با چوب در شکل ۱ نشان داده شده است.

فشرده‌گی ارتباط دارد. بخشی از بازگشت فشرده‌گی بلافاصله پس از حذف بار رخ می‌دهد که به بازگشت فنری الاستیک موسوم است و مرتبط با کرنش الاستیک ایجاد شده در پیوندهای شیمیایی بین اجزای دیواره سلولی می‌باشد. بازگشت فنری الاستیک را می‌توان تا حد زیادی با خنک کردن پس از فشرده‌سازی در وضعیت فشرده از بین برد [۳]. بخش دیگر بازگشت فشرده‌گی مربوط به دریافت رطوبت چوب فشرده شده از محیط اطراف می‌باشد [۴]. اصلاح شیمیایی یا گرمایی چوب فشرده شده یک راهکار مناسب برای حذف این نوع از بازگشت فشرده‌گی می‌باشد [۵-۶].

اصلاح گرمایی چوب با روغن‌های گیاهی به دلیل قابلیت تجدید پذیری و غیر سمی بودن، سازگار با محیط‌زیست می‌باشد [۷] و همچنین این نوع اصلاح سبب می‌شود که گرما به صورت یکنواخت به داخل چوب منتقل شود و از طرفی دیگر با کاهش دسترسی اکسیژن به چوب، خطر آتش‌سوزی آن کم شود [۸]. پیوندهای دوگانه موجود در این روغن‌ها، قابلیت عامل دار کردن آنها با گروه‌های اپوکسی را فراهم می‌سازد [۹]. روغن‌های گیاهی دارای گروه‌های اپوکسی، ارزان قیمت و تجدید پذیر بوده و تحقیقات گسترده‌ای در زمینه اشباع چوب با روغن‌های گیاهی اپوکسی‌دار انجام شده است که در ادامه به برخی از آنها اشاره می‌شود.



شکل ۱- شمای پیشنهادی واکنش روغن سویای اپوکسی با چوب

۱۸۰ درجه سانتی‌گراد به علت حذف همی‌سلولزها که ساختاری آب‌دوست دارند، مقدار جذب آب کاهش یافت [۱۲]. Temiz و همکاران (۲۰۱۳) اثر اشباع چوب کاج جنگلی با تلفیقی از روغن زیستی (روغن حاصل از اصلاح

Asadi Khorramabadi و همکاران (۲۰۱۴) از روغن سویای عامل دار شده با انیدریدمالئیک برای اصلاح گرمایی گونه راش باهدف بهبود خواص مکانیکی استفاده کردند. آنها دریافتند که با اصلاح گرمایی در دمای بالاتر از

است. فشرده‌سازی چوب‌های سبک و افزایش دانسیته به بهبود مقاومت‌های مکانیکی منتهی می‌شود؛ بنابراین در تحقیق حاضر چوب صنوبر برای فشرده‌سازی مورد استفاده قرار گرفت. به‌منظور غلبه بر مشکل بازیابی شکل چوب فشرده‌شده، از روغن سویای دارای گروه‌های عاملی اپوکسی استفاده شد که علاوه بر نرم کردن چوب و آماده‌سازی آن برای فشرده‌سازی، در اثر واکنش گروه‌های اپوکسی روغن با گروه‌های هیدروکسیل چوب، بازیابی شکل چوب فشرده کاهش یابد و درعین حال مقاومت‌های مکانیکی آن حفظ شود. بر اساس مطالعات انجام‌شده، تاکنون گزارشی در زمینه تلفیق اصلاح گرمایی با روغن عامل دار و فشرده‌سازی در داخل و خارج از کشور ارائه نشده است.

### مواد و روش‌ها

الوار صنوبر از یک‌پایه درخت قطع‌شده از جنگل آموزشی دارابکلا تهیه شد. الوار پس از هوا خشک شدن، به قطعاتی به ابعاد  $20 \times 20 \times 20$  میلی‌متر برای آزمون بازگشت فشرده‌گی برش داده شدند. روغن سویای خام و اپوکسی از شرکت فناوران شیمی سپاهان واقع در اصفهان تهیه شد. مقدار گروه‌های اپوکسی روغن عامل‌دار طبق استاندارد AOCs، اندازه‌گیری شد و مقدار میانگین گروه‌های اپوکسی  $6/8$  درصد وزنی به‌دست‌آمده [۱۹]. اسید استیک از شرکت دکتر مجللی تهیه شد.

اشباع نمونه‌ها با روغن خام و اپوکسی در یک سیلندر نیمه‌صنعتی در فشار ۴ بار به مدت ۲ ساعت انجام شد. برای سطح اشباع با روغن اپوکسی، از مخلوط روغن و اسید استیک با نسبت وزنی ۷:۳ استفاده شد.

بعد از اشباع نمونه‌ها با روغن خام و عامل‌دار سویا، نمونه‌ها در یک قاب چوبی متناسب با ابعاد نمونه قرار گرفته و در فشار ۱۲۰ بار و دمای ۱۵۰ درجه به مدت ۳۰ دقیقه در یک پرس نیمه‌صنعتی هیدرولیک به میزان ۳۰ درصد فشرده شدند.

به‌منظور اصلاح گرمایی، بعد از فشرده‌سازی، نمونه‌های فشرده در فویل آلومینیومی پیچانده شده و در یک آون آزمایشگاهی در دمای ۱۸۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴ ساعت حرارت دهی شدند.

گرمایی چوب) و روغن عامل دار بزرگ را بررسی نمودند. روغن عامل دار بزرگ به‌منظور کاهش آبشویی روغن زیستی استفاده شد. جذب آب، واکنشیدگی مماسی، پوسیدگی و مقاومت به حشرات چوب اشباع‌شده مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد نمونه‌هایی که با روغن زیستی تیمار شدند جذب آب کمتری نسبت به نمونه‌های شاهد داشتند که افزودن روغن عامل دار باعث کاهش بیشتر جذب آب شد. مقاومت در برابر پوسیدگی نمونه‌های تیمار شده با ۲۰٪ روغن زیستی در مقابل قارچ پوسیدگی سفید و قهوه‌ای بسیار بالا بود [۱۵]. Jebran و همکاران (۲۰۱۵ الف) اثر اصلاح برون‌چوب کاج جنگلی با روغن بزرگ اپوکسی را بر کار آبی ضدواکنشیدگی مورد مطالعه قرار دادند و دریافتند کارایی ضدواکنشیدگی در حدود ۴۰-۵۷ درصد بهبود یافته است که حتی در حدود ۴۰ درصد بهتر از کار آبی ضدواکنشیدگی چوب‌های اصلاح گرمایی شده بود [۱۶]. Jebrane و همکاران (۲۰۱۵ ب) نمونه‌های چوب کاج جنگلی را با روغن بزرگ اپوکسی در حضور اسید استیک اشباع کردند و نتایج نشان داد که اشباع با روغن اپوکسی به کاهش اندک خواص مکانیکی منجر شد. در بین خواص مکانیکی بیشترین کاهش مربوط به مدول گسیختگی (۲۰ درصد) بود. آنها علت این امر را به تخریب اسیدی کربوهیدرات‌ها نسبت دادند [۱۷]. Demirel و همکاران (۲۰۱۶) از روغن بزرگ و سویای اپوکسی در ترکیب با بوریک اسید استفاده کردند. بر اساس نتایج نمونه‌های اشباع‌شده با روغن اپوکسی جذب آب کمتر نسبت به روغن خام داشتند. کمترین جذب آب متعلق به نمونه اشباع‌شده با ۳٪ بوریک اسید و روغن سویای اپوکسی بود [۱۸].

علی‌رغم تحقیقات گسترده‌ای که در زمینه اصلاح گرمایی و مکانیکی چوب‌های گونه‌های مختلف و همچنین در زمینه تأثیر اصلاح گرمایی قبل و پس از فشرده‌سازی بر بازگشت ضخامت چوب‌های فشرده‌شده انجام شده است، تاکنون تحقیقی در زمینه تأثیر اصلاح گرمایی با روغن عامل دار بر خواص کاربردی چوب فشرده‌شده گزارش نشده است. با توجه به کمبود منابع چوب در کشور و افزایش استفاده از آن به‌عنوان مصالح ساختمانی، بهبود خواص فیزیکی و مکانیکی گونه‌های زراعی تند رشد و سبک به‌منظور افزایش کاربرد آنها امری اجتناب‌ناپذیر

$WA_t$  معرف میزان جذب آب در زمان غوطه‌وری  $t$ ، برحسب درصد می‌باشد.

$$WRE = (W_{unt} - W_t) / W_{unt} \times 100 \quad (3)$$

WRE کارایی آب‌گریزی (٪)،  $W_{unt}$ : جذب آب نمونه اصلاح‌نشده و  $W_t$ : جذب آب نمونه اصلاح‌شده می‌باشد.

طیف‌سنجی زیر قرمز تبدیل فوریه با روش (ATR-FTIR) توسط دستگاه اسپکتروسکوپی مدل، Thermo Nicolet Nexus 670 ساخت کشور آمریکا انجام شد و نتایج در طول موج  $450-4000 \text{ cm}^{-1}$  ثبت شد.

تجزیه و تحلیل آماری در قالب طرح کاملاً تصادفی با استفاده از نرم‌افزار آماری spss for windows (release 20, spss Inc) انجام شد. روش One sample Kolmogorov-smirnov برای بررسی توزیع نرمال داده‌ها مورد استفاده قرار گرفت. با توجه به تبعیت داده‌های مورد مطالعه از توزیع نرمال از آزمون تحلیل واریانس یک‌طرفه برای مقایسه میانگین‌ها و جهت مقایسه میانگین بین سطوح تیمار از گروه‌بندی دانکن در سطح معنی‌داری ۰/۰۵ استفاده شد. در جدول ۱ سطوح تیمار و کدهای تعریف‌شده برای هر سطح نشان داده شده است. برای هر آزمون ۵ تکرار در نظر گرفته شد.

برای انجام آزمون بازگشت فشرده‌گی نمونه‌ها در آب مقطر با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۵ روز در آون آزمایشگاهی قرار گرفتند [۲۰]. پس از این مدت نمونه‌ها ابتدا در هوای آزاد تا رسیدن به رطوبت زیر اشباع فیبر خشک‌شده و سپس در دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت خشک شدند. ابعاد قبل و بعد از غوطه‌وری و بعد از خشک شدن، توسط کولیس دیجیتالی با دقت ۰/۰۰۱ میلی‌متر اندازه‌گیری شد و بازیابی شکل مطابق رابطه ۱ محاسبه گردید.

$$R_s = \frac{T_r - T_c}{T_0 - T_c} \times 100 \quad (1)$$

که  $R_s$  مقدار بازیابی شکل برحسب درصد،  $T_r$  ضخامت نمونه‌های خشک پس از غوطه‌وری،  $T_c$  ضخامت نمونه‌های خشک پس از فشرده‌گی و  $T_0$  ضخامت نمونه‌های خشک پیش از فشرده‌گی می‌باشد.

همچنین میزان جذب آب و کارایی آب‌گریزی به ترتیب مطابق روابط ۲ و ۳ محاسبه شدند.

$$WA_t (\%) = (M_t - M_o) / M_o \times 100 \quad (2)$$

که  $M_t$  و  $M_o$  به ترتیب مقادیر جرم خشک قبل از غوطه‌وری و مقادیر جرم در زمان غوطه‌وری  $t$  هستند.

جدول ۱- سطوح تیمار و کدهای تعریف‌شده برای هر سطح

ردیف	سطح تیمار	کد
۱	شاهد	C
۲	شاهد اشباع‌شده با روغن سویا خام	CSO
۳	شاهد اشباع‌شده با روغن سویا اپوکسی	CESO
۴	نمونه اشباع‌شده با روغن خام و فشرده‌شده	DSO
۵	نمونه اشباع‌شده با روغن اپوکسی و فشرده‌شده	DESO
۶	نمونه اشباع‌شده با روغن خام و فشرده‌شده و اصلاح گرمایی شده	DSO-HT
۷	نمونه اشباع‌شده با روغن اپوکسی و فشرده‌شده و اصلاح گرمایی شده	DESO-HT

قرمز نمونه‌های فشرده پس از اصلاح گرمایی را نشان می‌دهد.

پیک شاخص گروه‌های هیدروکسیل الکی و فنلی در محدوده عدد موج  $3300-3600 \text{ cm}^{-1}$  و گروه‌های هیدروکسیل اسیدهای کربوکسیلیک در عدد موج  $2500-3300 \text{ cm}^{-1}$  قرار دارد [۲۱]. از شکل مشخص است که

## نتایج و بحث

شکل ۲ طیف‌های زیر قرمز تبدیل فوریه نمونه شاهد، نمونه‌های اشباع‌شده با روغن خام و اپوکسی، شکل ۳ طیف‌های زیر قرمز نمونه‌های فشرده اشباع‌شده با روغن خام و اپوکسی و شکل ۴ طیف‌های زیر

اپوکسی اصلاح گرمایی باعث افزایش شدت پیک مذکور می‌شود. در نمونه فشرده‌ی اشباع شده با روغن اپوکسی این پیک به عدد موج  $2864 \text{ cm}^{-1}$  منتقل شد که البته از شدت پایینی برخوردار بود.

باند  $1750-1700 \text{ cm}^{-1}$  مربوط به گروه کربونیل می‌باشد [۲۲]. این پیک در عدد موج  $1745 \text{ cm}^{-1}$  با بیشترین شدت در نمونه شاهد اشباع شده با روغن خام مشاهده گردید و فشرده‌سازی و اصلاح گرمایی به ترتیب موجب کاهش و حذف این پیک گردید. اصلاح گرمایی در سطح دارای روغن اپوکسی موجب افزایش شدت پیک مذکور گردید. در نمونه اشباع شده با روغن خام به دلیل حضور گروه‌های کربونیل در ساختار روغن شدت این پیک افزایش یافت، هرچند فشرده‌سازی به خروج روغن و کاهش شدت پیک مذکور انجامید. در نمونه اشباع شده با روغن اپوکسی شدت پیک مذکور کمتر از نمونه اشباع شده با روغن خام بود که طی فرایند اپوکسی‌دار کردن روغن این اتفاق می‌افتد. اصلاح گرمایی در سطح دارای روغن اپوکسی به علت باز شدن حلقه اپوکسی در حضور کاتالیزور و گرما موجب افزایش شدت پیک مذکور گردید. حذف پیک مذکور در سطح اشباع شده با روغن خام و اصلاح گرمایی شده را می‌توان به حذف همی‌سلولزها طی اصلاح گرمایی نسبت داد.

پیک  $1592 \text{ cm}^{-1}$  مختص گروه  $C=C$  کششی حلقه آروماتیک لیگنین می‌باشد [۲۱، ۲۳] که البته این مقدار به گونه چوبی بستگی دارد و مشخص‌کننده مقدار لیگنین است [۲۴]. در ساختار روغن خام نیز این پیوند دوگانه وجود دارد که طی فرایند اپوکسی‌دار شدن کاهش می‌یابد. شدت پیک مذکور در نمونه اشباع شده با روغن خام از بالاترین مقدار برخوردار بود و فشرده‌گی موجب شدت پیک به کمترین مقدار برسد. علت بالا بودن شدت پیک مذکور در نمونه شاهد اشباع شده با روغن خام پیوند  $C=C$  موجود در روغن خام علاوه بر حلقه آروماتیک لیگنین می‌باشد که فشرده‌سازی موجب خروج روغن و کاهش شدت پیک مذکور تا حد نزدیک به نمونه شاهد می‌گردد. اصلاح گرمایی سطح روغن خام موجب افزایش اندک شدت پیک مذکور گردید. علت این امر را می‌توان به کاهش کربوهیدرات‌ها و متعاقباً افزایش لیگنین موجود در چوب نسبت داد.

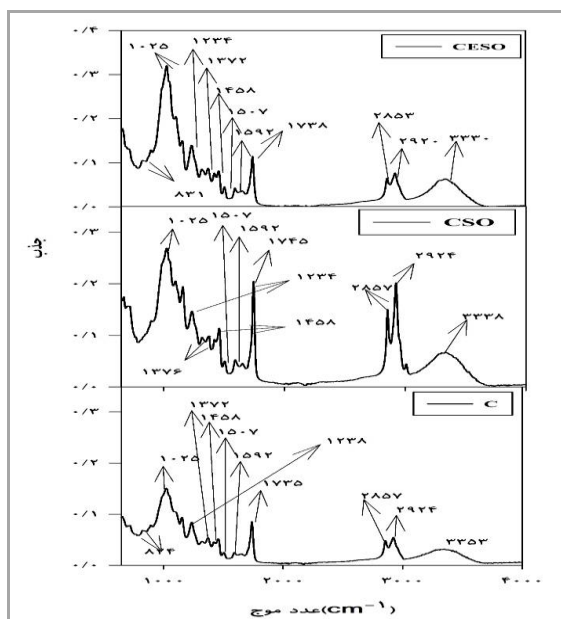
بیشترین شدت پیک مربوط به نمونه شاهد اشباع شده با روغن خام می‌باشد که در عدد موج  $3333 \text{ cm}^{-1}$  مشاهده شد. علت این امر حضور تعداد زیادی از گروه‌های هیدروکسیل الکلی در ساختار روغن می‌باشد. کمترین شدت پیک مربوط به نمونه اشباع شده با روغن خام و فشرده شده می‌باشد که در عدد موج  $3311 \text{ cm}^{-1}$  مشاهده شد. علت این امر را می‌توان به خروج قابل‌ملاحظه روغن خام حین فشرده‌سازی و همچنین تخریب همی‌سلولزها و بخش آمورف سلولز در سطح چوب فشرده در تماس با صفحات داغ پرس طی فرایند فشرده‌سازی نسبت داد. انتقال پیک مذکور به عدد موج پایین‌تر نشان‌دهنده حضور اندک گروه‌های هیدروکسیل کربوکسیلیک اسید در روغن خام می‌باشد. در نمونه شاهد اشباع شده با روغن اپوکسی نیز این پیک در عدد موج  $3330 \text{ cm}^{-1}$  با شدتی اندکی کمتر از نمونه شاهد اشباع شده با روغن خام مشاهده گردید که علت این امر را می‌توان به باز شدن برخی از حلقه‌های اپوکسی در حین اشباع در حضور کاتالیزور و برقراری پیوند اتری با گروه‌های هیدروکسیل چوب نسبت داد. در سطح فشرده شده دارای روغن اپوکسی شدت پیک مذکور به شدت کاهش یافت که علت این امر را می‌توان به تشکیل بیشتر پیوند اتری با گروه‌های هیدروکسیل چوب در اثر دمای پرس نسبت داد. اصلاح گرمایی مجدد شدت پیک مذکور را افزایش داد که می‌توان علت را به افزایش گروه‌های هیدروکسیل فنولی لیگنین متعاقب تخریب بیشتر کربوهیدرات‌ها بر اثر دمای بالای اصلاح گرمایی و همچنین به باز شدن بیشتر حلقه اپوکسی و تشکیل گروه‌های هیدروکسیل جدید حین واکنش اسید استیک با روغن سویای اپوکسی نسبت داد. اصلاح گرمایی در روغن خام به دلیل تخریب کربوهیدرات موجب کاهش گروه‌های هیدروکسیل گردید.

باند  $2860-2845 \text{ cm}^{-1}$  مربوط به پیوند  $H-C$  می‌باشد [۲۱]. این پیک در نمونه شاهد اشباع شده با روغن خام از بیشترین شدت برخوردار بود و در نمونه فشرده‌ی اشباع شده با روغن خام و اصلاح گرمایی شده پیک حذف گردید. روغن خام از پیوند  $C-H$  بیشتری نسبت به روغن اپوکسی برخوردار است که طی فرایند پلیمریزاسیون به دلیل باز شدن حلقه اپوکسی مجدد به شدت اولیه برمی‌گردد. به همین دلیل در سطح فشرده دارای روغن

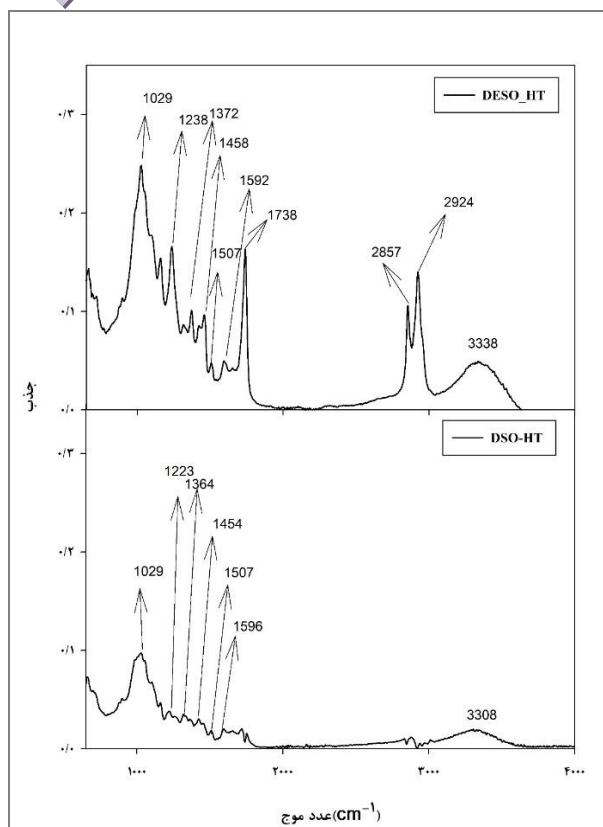
شدت این دو پیک را به شدت کاهش داد. هرچند اصلاح گرمایی در سطح اشباع شده با روغن خام به کاهش مضاعف و در نمونه‌های اشباع شده با روغن اپوکسی به افزایش قابل ملاحظه شدت پیک مذکور منتهی گردید. پیک  $1029\text{ cm}^{-1}$  متعلق به جذب ارتعاش کششی C-O در لیگنین و پلی ساکاریدها و البته در روغن می‌باشد [۲۱] که نمونه‌ی اشباع شده با روغن اپوکسی از بیشترین مقدار برخوردار بود علت این امر حضور این پیوند در ساختار روغن و حلقه اپوکسی می‌باشد. فشردگی با روغن خام سبب کاهش شدت این پیک گردید و اصلاح گرمایی تغییری در شدت پیک مذکور ایجاد نکرد اما در نمونه اشباع شده با روغن اپوکسی، فشردگی سبب کاهش قابل ملاحظه شدت این پیک به علت خروج روغن حین فشردگی شد و اصلاح گرمایی موجب افزایش مجدد شدت پیک مذکور گردید.

عدد موج  $1500\text{ cm}^{-1}$  تا  $1510\text{ cm}^{-1}$  مربوط به ارتعاش کششی حلقه آروماتیک لیگنین است که در نمونه اشباع شده با روغن خام بیشترین مقدار و در نمونه فشردگی شده اشباع شده با روغن خام کمترین مقدار را داشت. اصلاح گرمایی موجب کاهش شدت پیک مذکور فقط در نمونه اشباع شده با روغن خام گردید ولی در نمونه اشباع شده با روغن اپوکسی اصلاح گرمایی تغییری در شدت پیک مذکور ایجاد نکرد.

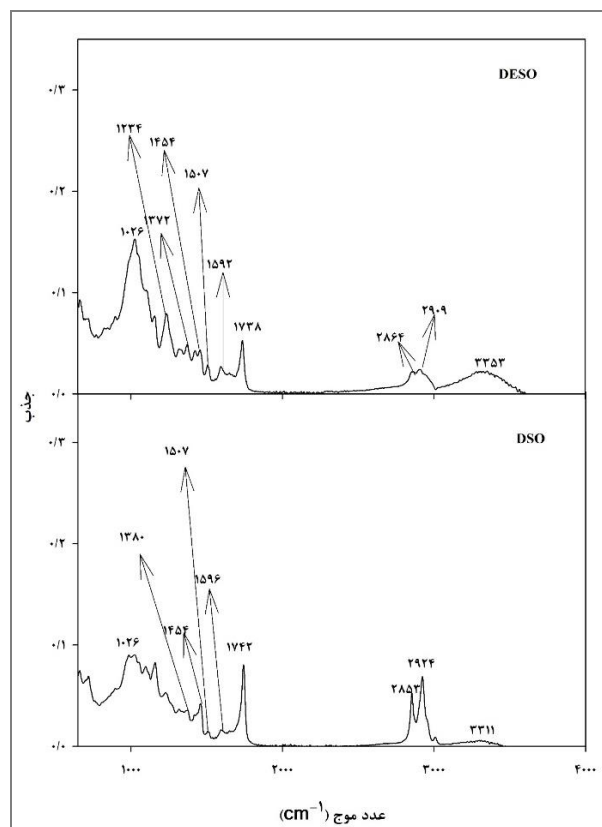
باند  $1226\text{ cm}^{-1}$  تا  $1234\text{ cm}^{-1}$  مربوط به ارتعاش کششی C-O در حلقه آروماتیک لیگنین سیرینجیل است که در نمونه اشباع شده با روغن اپوکسی و اصلاح گرمایی شده از بالاترین مقدار برخوردار بود و در نمونه اشباع شده با روغن خام و اصلاح گرمایی شده از پایین‌ترین مقدار برخوردار بود. اشباع با روغن خام و اپوکسی موجب افزایش قابل ملاحظه شدت این دو پیک گردید ولی فشردگی



شکل ۲- طیف‌های زیر قرمز نمونه‌های شاهد و اشباع شده با روغن خام و اپوکسی



شکل ۴. طیف‌های زیر قرمز نمونه‌های فشرده اشباع شده با روغن خام و اپوکسی و اصلاح گرمایی شده



شکل ۳. طیف‌های زیر قرمز نمونه‌های فشرده اشباع شده با روغن خام و اپوکسی

الاستیسته کمتری از خود نشان خواهد داد و بنابراین از بازگشت فشردگی کمتری برخوردار است. در سطوح اصلاح گرمایی شده، به‌ویژه سطح اشباع شده با روغن اپوکسی، به دلیل حذف پلی‌سارکاریدهای آب‌دوست حین اصلاح گرمایی، تغییر شکل فیبرها دائمی بود.

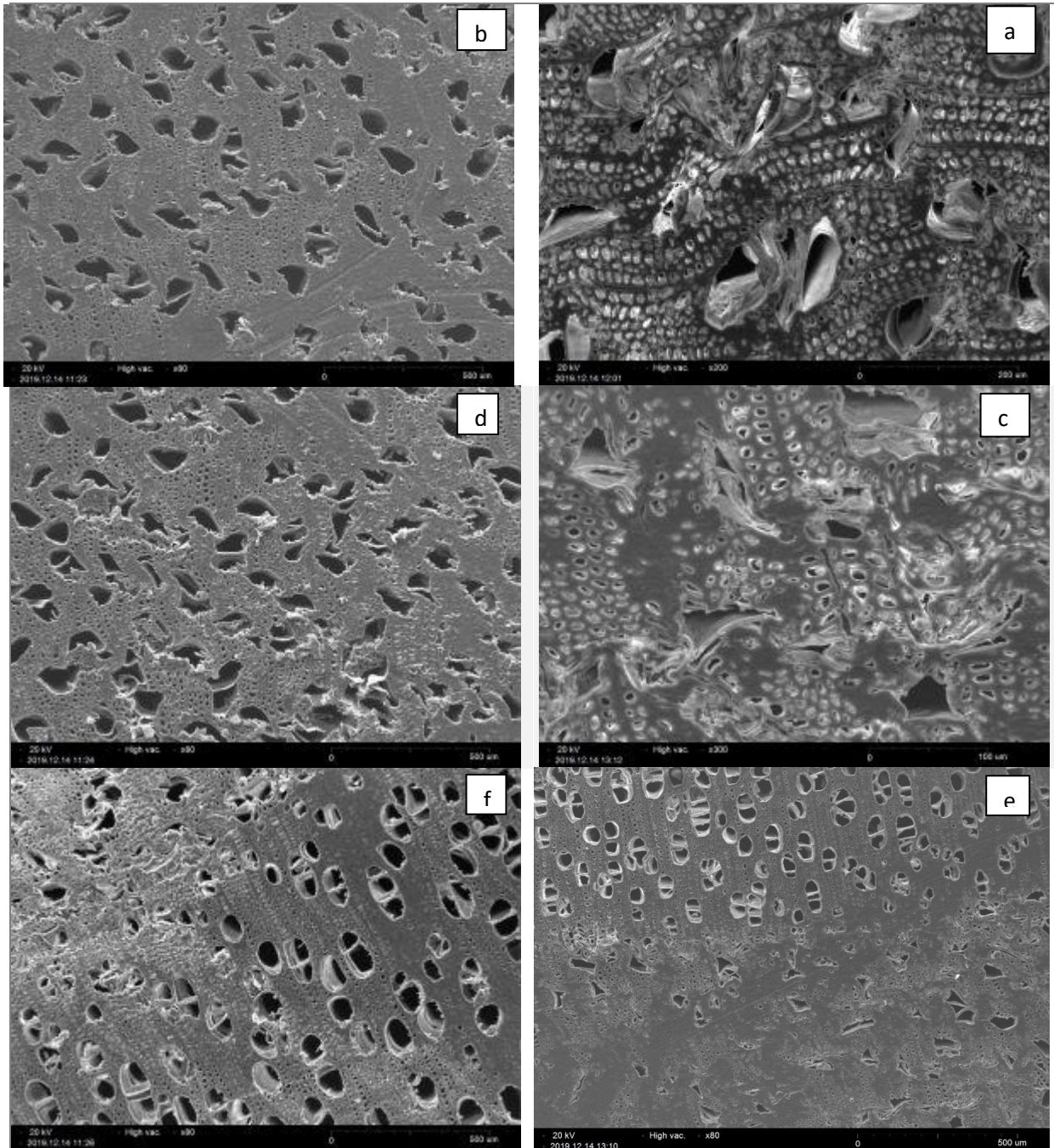
شکل ۶ بازگشت فشردگی نمونه‌های غوطه‌ور شده در آب ۷۰ درجه سانتی‌گراد پس از ۵ روز را نشان می‌دهد. نتایج تحلیل آماری نشان داد بین مقادیر بازگشت فشردگی در سطوح مختلف، اختلاف معنادار ( $P \text{ value}=0$ ) وجود داشته است. مقدار بازگشت فشردگی نمونه‌های اشباع شده با روغن اپوکسی به میزان ۹ درصد کمتر از مقدار بازگشت فشردگی نمونه اشباع شده با روغن خام بود. روغن اپوکسی به دلیل قطبیت بیشتر نسبت به روغن خام از قابلیت نفوذ به دیواره سلولی برخوردار است و می‌تواند حین فشردگی به پلاستیکی‌تر شدن دیواره سلولی بیانجامد ضمن اینکه در اثر حرارت پرس، پیوند بین گروه‌های اپوکسی روغن و گروه‌های هیدروکسیل چوب برقرار

شکل ۵ تصاویر میکروسکوپ الکترونی مقطع عرضی نمونه‌های فشرده، قبل و بعد از بازگشت فشردگی را نشان می‌دهد. بررسی ریزساختاری نشان می‌دهد به‌طور کلی در همه نمونه‌ها لهیدگی هم در دیواره سلولی آوند و هم در دیواره سلولی فیبرها ایجاد شد و پس از غوطه‌وری در آب ۷۰ درجه سانتی‌گراد، تغییر محسوسی در شکل فشرده آوندها رخ نداد و تغییر شکل ایجادشده، دچار بازگشت نشد ولی تغییر شکل ایجادشده در فیبرها دچار بازگشت شد. آوندها از دیواره سلولی ضعیف‌تری نسبت به فیبرها برخوردارند و بنابراین حین فشردگی، در تنش کمتر دچار تغییر شکل دائمی می‌شوند. فیبرها از دیواره سلولی ضخیمی برخوردار هستند و تنش حد تناسب در دیواره فیبرها بیشتر است و از الاستیسته بالاتری نسبت به آوندها برخوردار هستند و احتمال بازگشت فشردگی در آنها بیشتر می‌باشد. در سطح اشباع شده با روغن اپوکسی، به دلیل اینکه روغن اپوکسی می‌تواند وارد دیواره سلولی فیبرها شود، دیواره فیبر را تضعیف کرده و حین فشردگی،

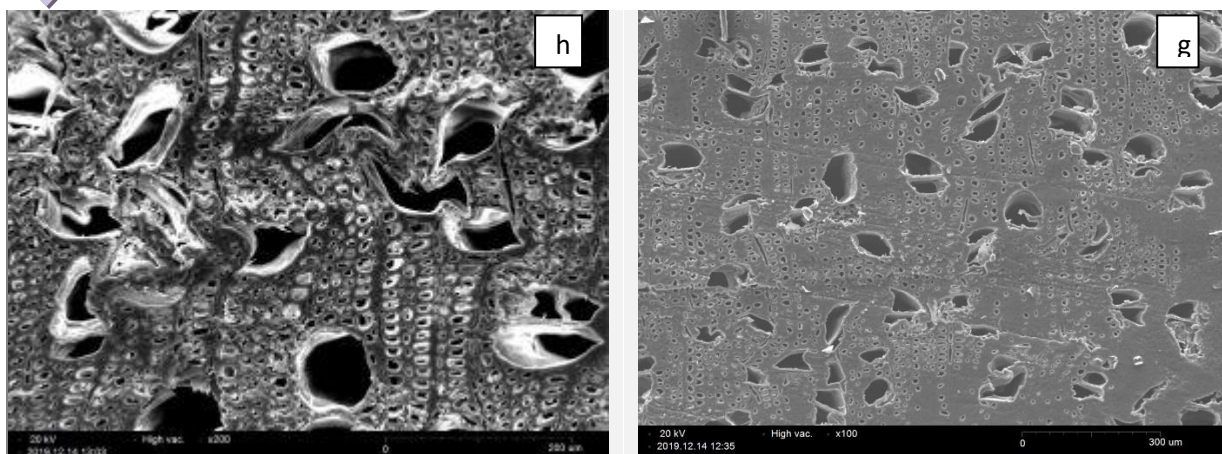


می‌شود. در سطح دارای روغن اپوکسی، اصلاح گرمایی علاوه بر تخریب پلی‌ساکاریدهای آب‌دوست، به برقراری بیشتر پیوند اتری بین گروه‌های اپوکسی روغن و گروه‌های هیدروکسیل چوب منجر می‌شود که به کاهش بیشتر بازگشت فشرده‌گی می‌انجامد.

می‌گردد (طیف‌های FTIR نیز این امر را تایید می‌کند) و به کاهش بازگشت فشرده‌گی می‌انجامد. اصلاح گرمایی در هر یک از نمونه‌های اشباع شده با روغن خام و اپوکسی، بازگشت فشرده‌گی را به ترتیب ۴۶ و ۶۳ درصد کاهش داد. اصلاح گرمایی با حذف پلی‌ساکاریدهای آب‌دوست، منجر به کاهش جذب رطوبت و متعاقباً کاهش بازگشت فشرده‌گی



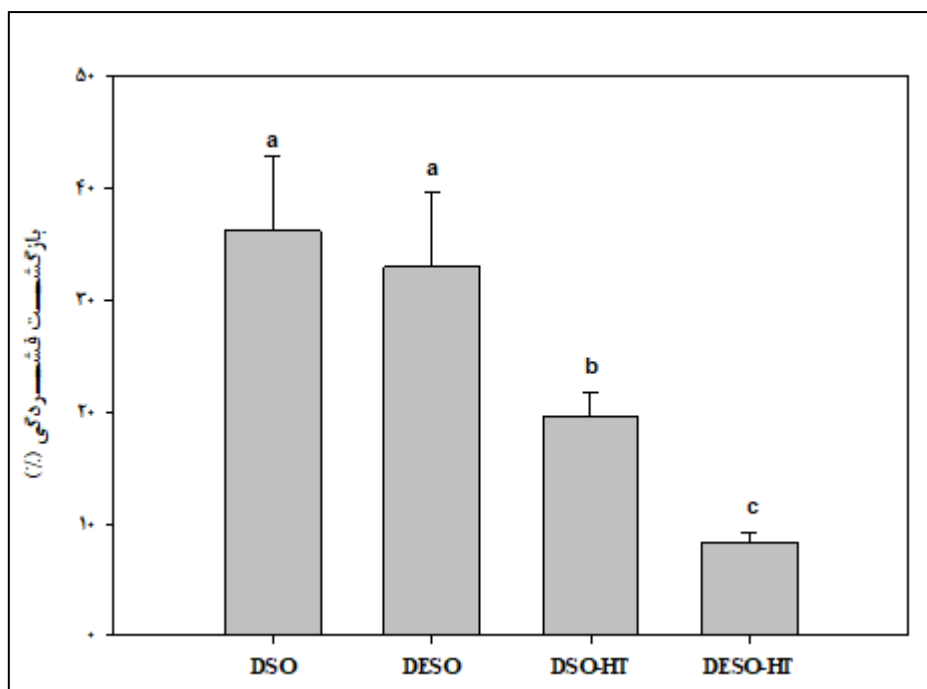




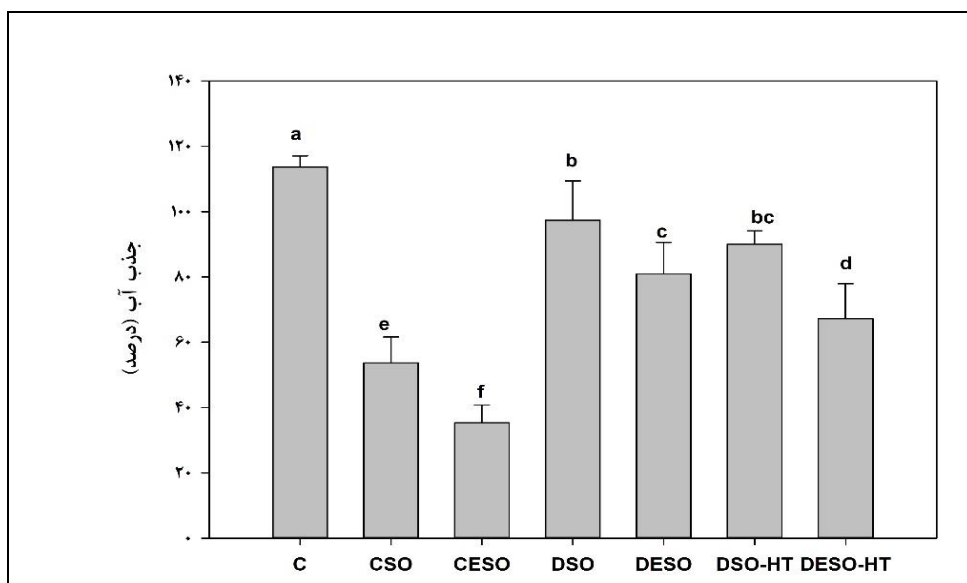
شکل ۵- مقاطع عرضی چوب فشرده صنوبر: (a) DSO پیش از بازگشت فشرده‌گی، (b) DSO پس از بازگشت فشرده‌گی، (c) DESO پیش از بازگشت فشرده‌گی، (d) DESO پس از بازگشت فشرده‌گی، (e) DSO-HT پیش از بازگشت فشرده‌گی، (f) DSO-HT پس از بازگشت فشرده‌گی، (g) DESO-HT پیش از بازگشت فشرده‌گی، (h) DESO-HT پس از بازگشت فشرده‌گی

سلولی و متعاقباً قرار دادن نمونه‌های چوبی فشرده شده در آب ۷۰ درجه سانتی‌گراد، موجب بازگشت فشرده‌گی و فراهم کردن مجدد مسیر برای ورود آب گردید. ضمن اینکه خروج روغن حین فشرده‌گی سبب شد فضای خالی برای ورود آب ایجاد شود. نمونه‌های فشرده اشباع شده با روغن اپوکسی از جذب آب کمتری برخوردار بودند و اصلاح گرمایی به کاهش بیشتر جذب آب منجر گردید. نتایج طیف‌سنجی مادون‌قرمز نیز نشان داد در سطح فشرده اشباع شده با روغن اپوکسی، دمای پرس به تشکیل بیشتر پیوند اتری با گروه‌های هیدروکسیل چوب منجر می‌شود. همچنین اصلاح گرمایی موجب تخریب همی-سلولز آب‌دوست و در سطح اشباع شده با روغن اپوکسی موجب باز شدن بیشتر حلقه اپوکسی و برقراری پیوند بیشتر با گروه‌های هیدروکسیل چوب می‌شود. اصلاح گرمایی در روغن خام به دلیل تخریب کربوهیدرات تنها موجب کاهش گروه‌های هیدروکسیل و کاهش جذب آب در دیواره سلولی می‌شود و از سوی دیگر به دلیل ایجاد فضای خالی در دیواره سلولی، متعاقب تخریب دیواره، موجب جذب آب آزاد بیشتر می‌شود.

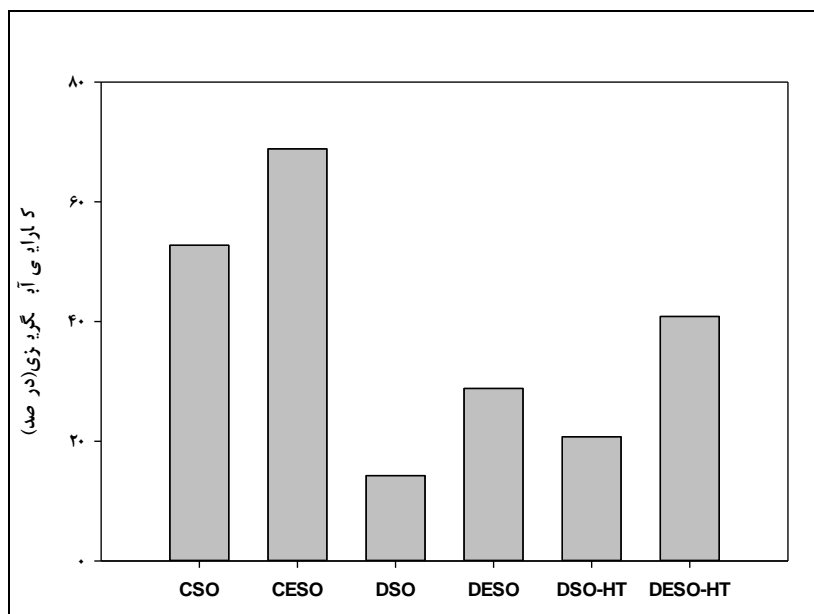
شکل ۷ جذب آب نمونه‌های شاهد و فشرده شده پس از غوطه‌وری ۵ روزه در آب ۷۰ درجه سانتی‌گراد را نشان می‌دهد. تحلیل آماری نشان داد که بین مقادیر جذب آب در سطوح مختلف اختلاف معنادار وجود داشت (P value=0). مشاهده می‌شود که در سطوح غیر فشرده، اشباع چوب با روغن موجب کاهش جذب آب گردید که این اثر در حضور روغن اپوکسی محسوس‌تر بود. به‌طور کلی روغن به دلیل ماهیت آب‌گریز بودن، به کاهش جذب آب چوب می‌انجامد [۲۵]. اشباع با روغن اپوکسی در حضور کاتالیزور اسیداستیک منجر به برقراری پیوند بین گروه‌های عاملی اپوکسی روغن با گروه‌های هیدروکسیل چوب شده و به کاهش بیشتر جذب آب می‌انجامد. نتایج طیف‌های زیر قرمز نیز برقراری پیوند اتری بین گروه‌های اپوکسی با گروه‌های هیدروکسیل چوب را تایید می‌کند. محققان دیگر نیز به نتایج مشابه دست یافتند [۲۶، ۱۵، ۱۸، ۱۷]. به‌طور کلی جذب آب نمونه شاهد بیشتر از نمونه‌های فشرده بود. در سطوح فشرده اشباع شده با روغن جذب آب بیشتر از نمونه‌های فشرده نشده بود. شکستگی‌های ریز ناشی از فشرده‌گی در دیواره



شکل ۶- بازگشت فشردگی نمونه‌های فشرده



شکل ۷- مقادیر جذب آب نمونه‌های شاهد و فشرده



شکل ۸ - کارایی آب‌گریزی نمونه‌های شاهد و فشرده

سازی موجب لهیدگی دیواره سلولی آوند و فیبرها شد و پس از غوطه‌وری در آب ۷۰ درجه سانتی‌گراد، تغییر محسوسی در شکل فشرده آوندها رخ نداد ولی تغییر شکل ایجادشده در فیبرها دچار بازگشت شد. در سطح اشباع شده با روغن اپوکسی، بازگشت فشردگی کمتر از روغن خام بود و اصلاح گرمایی به‌ویژه در سطح اشباع شده با روغن اپوکسی، به دلیل حذف پلی سارکاریدهای آب-دوست به تغییر شکل دائمی فیبرها منجر شد. نتایج آزمون بازگشت فشردگی نشان داد که مقدار بازگشت فشردگی نمونه‌های اشباع شده با روغن اپوکسی کمتر از مقدار بازگشت فشردگی نمونه اشباع شده با روغن خام بوده است. اصلاح گرمایی در هر یک از نمونه‌های اشباع شده با روغن خام و اپوکسی بازگشت فشردگی را به ترتیب ۴۶ و ۶۳ درصد کاهش داد. نتایج آزمون جذب آب نشان داد که اشباع چوب در سطوح غیر فشرده با روغن موجب کاهش جذب آب می‌گردد که این اثر در حضور روغن اپوکسی محسوس‌تر بود. به‌طورکلی جذب آب نمونه‌های فشرده بیشتر از نمونه‌های شاهد بود و اصلاح گرمایی به کاهش بیشتر جذب آب منجر گردید.

از شکل ۸ می‌توان دریافت که در سطوح فشرده نشده، کارایی آب‌گریزی نمونه اشباع شده با روغن اپوکسی بیشتر از نمونه اشباع شده با روغن خام بود که علت را می‌توان به برقراری پیوند گروه‌های اپوکسی روغن با دیواره سلولی و محدود کردن ورود آب به دیواره نسبت داد. سطوح فشرده شده از کارایی آب‌گریزی کمتری نسبت به سطوح فشرده نشده برخوردار بودند که علت را می‌توان به اثر حافظه شکلی و بازگشت فشردگی نسبت داد. در بین سطوح فشرده، بیشترین کارایی آب‌گریزی مربوط به نمونه اشباع شده با روغن اپوکسی و اصلاح گرمایی شده بود که علت این امر برقراری پیوندهای اتری بیشتر بین روغن و دیواره سلولی حین حرارت دهی، علاوه بر تخریب اجزای آب‌دوست دیواره سلولی طی اصلاح گرمایی، می‌باشد.

### نتیجه‌گیری

نتایج طیف‌سنجی زیرقرمز نشان داد اشباع چوب با روغن اپوکسی و سپس فشرده‌سازی، موجب بازشدن حلقه اکسیران و برقراری پیوند اتری با چوب می‌گردد و اصلاح گرمایی پس از فشرده‌سازی به افزایش بیشتر پیوندهای اتری منجر شد. بررسی ریزساختاری نشان داد که فشرده-

- [1] Bazyar, B., 2012. Decay resistance and physical properties of oil heat treated aspen wood. *Bio Resources*, 7(1): 696-705.
- [2] Ulker, O., and Hiziroglu, S., 2017. Some properties of densified eastern red-sedar as function of heat and treatment. *Materials*, 10(11): 1275-1289
- [3] Neyses, B., 2016. Surface-Densified Wood – From Laboratory-Scale Research towards a Competitive Product. Licentiate Thesis, Luleå University of Technology. 60.
- [4] Rademacher, P., Bader, M., Nemeth, R., Rousek, R., Paril, P., Baar, J., Hornicek, S., Dejmal, A., Domeny, J., Kudela, J., Kutnar, A., Neyses, B. and Sandberg, D., 2017. European co-operation in wood research from native wood to engineered materials: Part 2: densification modification in product development. *Pro Ligno*, 13(4): 351-360.
- [5] Laine, K., Segerholm, k., Walinder, M., Rautkari, L., and Hughes, M. 2016. Wood densification and thermal modification hardness, set-recovery and micromorphology. *Wood Science and Technology*, 50(5): 883-894.
- [6] Kutnar, A., Sandberg, D., and Haller, P., 2015. Compressed and molded wood from processing to products- a review. *Holzforschung*, 69(7): 885-898.
- [7] Tanaomi, A.R., Mohebbi, B., Ghahri, S., 2012. The Effect of Oleothermal Treatment on Physical and Mechanical Properties of Beech Wood. *Journal of Wood & Forest Science and Technology*, 19 (3):111-126. (In Persian)
- [8] Hosseini Fard, M.S., Khojasteh Khosro, S., Mohebbi, B., 2015. Evaluate the effect of oil-heat treatment of Fir species on contact angle and adhesion strength of water based clear and acid catalyzed transparent coat. *Iranian Journal of Wood and Paper Science Research*, 30 (1):151-159 (In Persian)
- [9] Mungroo, R., Pradhan, N.C., Goud, V.V. and Dalai, A.K., 2008. Epoxidation of canola oil with hydrogen peroxide catalyzed by acidic ion exchange resin. *Journal of American oil Chemist's society*, 85(9):887-896.
- [10] Adekunle, K.F., Akesson, D. and Skrifvars, M., 2010. Synthesis of reactive soybean oils for use as biobased thermoset resins in structural natural fiber composites. *Journal of Applied Polymer Science*, 115(6): 3137–3145.
- [11] Tjeerdsma, B.F., Swager, P., Horstman, B., Holleboom, W., and Homan, J., 2005. Process development of treatment of wood with modified hot oil. *European Conference on Wood Modification*. Gottingen, Germany.
- [12] Asadi Khorramabadi, L., Khazaeian, A., Masteri Farahani, M. and Shakeri, A., 2014. Effect of heat treatment with modified soybean oil on mechanical properties of beech wood. *Iranian Journal of Wood and Paper Science Research*, 29 (2):208-219. (In Persian).
- [13] Mohammadi, M., Shakeri, A. Asghari, J., 2012. Epoxidation of Soybean Oil and Canola oil, *Applied Chemistry*, 7(24): 53-62 (In Persian)
- [14] Nalbandi, A., and Khalili, A., (2014). Soybean Oil Epoxidation by Heterogeneous Catalyst of Silica Sulfuric Acid, *Nashrieh Shimi va Mohandesi Shimi Iran*, 33(4): 19-29.
- [15] Temiz, A., Kose, G., Panov, D., Terziev, N., Hakki Alma, M., Palenti, S. and Akbas, S., 2013. Effect of bio-oil and epoxidized linseed oil on physical, mechanical and biological properties of treated wood. *Applied Polymer Science*, 130(3): 1562-1569.

- [16] Jebran, M., Fernandez-Cano, V., Panov, D., Terziev, N. and Daniel, G., 2015 (a). Novel hydrophobization of wood by epoxidized linseed oil. Part 1. Process description and anti-swelling efficiency of the treated wood. *Holzforschung*, 69(2):173-177.
- [17] Jebrane, M., Fernández-Cano, V., Panov, D., Terziev, N. and Daniel, G., 2015 (b). Novel hydrophobization of wood by epoxidized linseed oil. Part 2. Characterization by FTIR spectroscopy and SEM, and determination of mechanical properties and field test performance. *Holzforschung*, 69(2): 179-186.
- [18] Demirel, G.K., Temiz, A., Demirel, S., Jebrane, M., Terziev, N., Gezer, E.D. and Ertas, M., 2016. Dimensional stability and mechanical properties of exoxidized vegetable oils as wood preservatives. In: Second COST Action FP1407 International Conference, Sept 29–30, Brno, Czech Republic.
- [19] Oxirane Oxygen, 1997. "Official and Recommended Practices of the American Oil Chemists Society", 5<sup>th</sup> Edn., AOCS press, Champaign, I.L.:Cd. 9-57.
- [20] Rautkari, L., and Hughes, M., 2009. Eliminating set-recovery in densified wood using a steam heat treatment process. European Conference on Wood Modification. Stockholm, Sweden.
- [21] Pandey, k.k., 1999. A study of chemical structure of soft and hardwood and wood polymers by FTIR spectroscopy. *Journal of applied polymer science*. 71(12):1969-1975.
- [22] Michell, A., and Higgins, H., 2002. Infrared spectroscopy in Australian forest products research, CSIRO Forestry and forest products. Melbourne, Australia 60p.
- [23] Duarte, A.P., Robert, D. and Lachenal, D., 2000. Eucalyptus globulus kraft pulp residual lignins, part 1: effect of extraction methods upon lignin structure. *Holzforchung*, 54(4):365-372.
- [24] Owen, N.L., and Thomas, D.W., 1989. Infrared Studies of "Hard" and "Soft" Woods. *Applied Spectroscopy*, 43: 451-455.
- [25] Balo, F., Yucel, H.L. and Ucar, A., 2010. Physical and mechanical properties of materials prepared using Class C fly ash and soybean oil. *Journal of Porous Materials*, 17(5): 553-564.
- [26] Terziev, N., and Panov, D., 2010. Plant oils as green substances for wood protection. In proceedings of 4th International Conference on Environment-Friendly Forest Products. Sept. 8-10 Porto, Portugal, p 143-149.
- [27] Temiz, A., Kose, G., Panov, D., Terziev, N., Hakki Alma, M., Palenti, S. and Akbas, S. 2013. Effect of bio-oil and epoxidized linseed oil on physical, mechanical and biological properties of treated wood. *Applied Polymer Science*, 130(3): 1562-1569.



## Effect of poplar wood impregnation with epoxidized soybean oil on the set recovery

### Abstract

Regarding the shortage of the wood resources in the country and the increasing trend for using them as constructional materials, densification of planted fast growing species in order to improve the physical and mechanical properties is inevitable. In the present study, poplar wood samples were impregnated with raw and epoxidized soybean oil and densified to the compression ratio of 30%. Heat treatment was used to overcome the set recovery problem. Results of the set recovery test showed that the set recovery values for samples impregnated with epoxidized oil were lower than the ones impregnated with raw oil. Heat treatment decreased the set recovery values to 46 and 63% for raw oil and epoxidized oil impregnated samples respectively. Results of water absorption tests showed that for non-densified samples, impregnation with oil led to lower water absorption which was more pronounced for the epoxidized oil impregnated samples. Generally, water absorption of densified wood was higher than the non-densified ones and heat treatment lowered that. Scanning electron microscopy images and Fourier Transform Infrared Spectroscopy was used for interpretation of the set recovery test results.

**Keywords:** densification, Soybean oil, Set recovery, Heat treatment.

**M. Ghasemi<sup>1</sup>**  
**F. Dastoorian<sup>2\*</sup>**  
**R. Abedini<sup>3</sup>**  
**S. M. Amininasab<sup>4</sup>**

<sup>1</sup> M.Sc. Student, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Dep. Of Wood & Cellulosic Products Engineering

<sup>2</sup> Assistant Professor, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Dep. Of Wood & Cellulosic Products

<sup>3</sup> Assistant Professor, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Dep. Of Wood & Cellulosic Products Engineering

<sup>4</sup> Assistant Professor, Kordestan University, Dep. Of chemistry

Corresponding author:  
[f.dastoorian@sanru.ac.ir](mailto:f.dastoorian@sanru.ac.ir)

Received: 2020/01/07  
Accepted: 2020/02/02