

تأثیر فرایند بازیافت بر ویژگی‌های شیمیایی و خاصیت ترشوندگی الیاف حاصل از پسماند تخته فیبر با دانسیته متوسط

محمد احمدی^{۱*}، بیبا معزی پور^۲ و معراج شرری^۳

* نویسنده مسئول، استادیار، گروه مهندسی منابع طبیعی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران
پست الکترونیک: m.ahmadi@uma.ac.ir

۲- دانش‌آموخته دکتری، گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، تهران، ایران

۳- استادیار، گروه مهندسی منابع طبیعی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

تاریخ دریافت: اسفند ۱۳۹۵ تاریخ پذیرش: آبان ۱۳۹۶

چکیده

در این تحقیق ویژگی‌های الیاف بازیافت شده از پسماند تخته فیبر دانسیته متوسط که یکی از منابع بالقوه مهم قابل استفاده به عنوان ماده اولیه در ساخت تخته فیبر دانسیته متوسط می‌باشند، بررسی شد. به این منظور از دو روش حرارت‌دهی اهمیتیک (در دو زمان ۲ و ۴ دقیقه) و هیدروترمال (در دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۱۵۰ دقیقه) برای بازیافت پسماند تخته فیبر دانسیته متوسط و از الیاف بکر به عنوان نمونه شاهد استفاده شد. ترکیب شیمیایی الیاف (مقدار لیگنین، سلولز و همی سلولز) به عنوان عوامل مؤثر بر کیفیت الیاف اندازه‌گیری شد. از الیاف بکر و بازیافتی طیف FT-IR گرفته شد تا تغییرات شیمیایی سطح پس از بازیافت مشخص شود. همچنین به منظور تعیین خاصیت ترشوندگی الیاف تصاویری از وضعیت قطره آب بر سطح الیاف تهیه شد و زاویه تماس بین قطره آب و سطح الیاف اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد که ترکیب شیمیایی الیاف در اثر بازیافت دستخوش تغییر می‌شود، به طوری که بیشترین تغییر در مقدار همی سلولز و مواد استخراجی رخ داد. همچنین در الیاف بازیافتی به روش هیدروترمال، کاهش چشم‌گیر در مقدار لیگنین مشاهده شد. نتایج FT-IR بیانگر وجود گروه‌های کربونیل بیشتر و هیدروکسی کمتر در الیاف بازیافتی نسبت به الیاف بکر بود که نشان‌دهنده فرایند استری شدن در الیاف بازیافتی می‌باشد. بررسی زاویه تماس قطره آب روی سطح الیاف نشان داد که ترشوندگی الیاف پس از بازیافت مخصوصاً در روش هیدروترمال کاهش یافته است.

واژه‌های کلیدی: بازیافت، پسماند تخته فیبر با دانسیته متوسط، ترشوندگی، طیف‌سنجی با مادون قرمز، ترکیب شیمیایی

مقدمه

پسماند به سه دسته کلی گروه‌بندی می‌شود: پسماند به‌جامانده از مبلمان و کابینت‌های کهنه که به‌مرور زمان غیرقابل استفاده شده‌اند، پسماند تولیدشده در کارخانه‌ها و کارگاه‌های تولیدکننده مبلمان و کابینت و پسماند تولید شده در کارخانه‌های تولیدکننده این صفحات. در نتیجه کناره‌بری تخته‌ها منجر به از دست رفتن حجم قابل توجهی از صفحات تولید شده و در واقع بخش عمده‌ای از ماده اولیه می‌شود. در حال حاضر این حجم گسترده پسماند یا به‌عنوان

تخته فیبر با دانسیته متوسط به‌عنوان یکی از فراورده‌های جدید و پرکاربرد چوب دارای ساختاری همگن، سطوحی صاف و لبه‌های فشرده و متراکم می‌باشد که مانند چوب ماسیو قابلیت برش و ماشین‌کاری دارد. این مزایای نسبی باعث شده که تولید جهانی تخته فیبر با دانسیته متوسط تخته فیبر با دانسیته متوسط در سال‌های اخیر به نحو محسوس‌ی افزایش یابد.

کیفیت خود را از دست می‌دهند (Dix et al., 2001) ; Mantanis et al., ; Michanickl and Boehme, 2003 Roffael et ; Grigoriou, 2008 Lykidis and ; 2004 Nicewicz and Leszek, 2010; al., 2009). در این روش ها حرارت‌دهی مداوم در دمای بالا سبب تخریب الیاف و توده لیگنوسلولزی و کاهش بازده می‌شود. در حال حاضر بخارزنی (روش هیدروترمال^۴) متداول‌ترین روش بازیافت پسماند تخته فیبر با دانسیته متوسط می‌باشد که طی آن الیاف با استفاده از تیمار بخار و دفیبراسیون دوباره، بازیافت و در ساخت تخته‌های تخته فیبر با دانسیته متوسط مورد استفاده قرار می‌گیرند (Moradikia, 2005). بررسی‌ها نشان داده که تخته‌های حاصل از الیاف بازیافت شده به این روش در مقایسه با تخته‌های ساخته شده با الیاف بکر ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی ضعیف‌تری دارند. به‌کارگیری روش‌هایی با حداقل تیمار مکانیکی یا بدون تیمار مکانیکی می‌تواند تأثیر قابل ملاحظه‌ای بر کیفیت الیاف بازیافتی داشته باشد و استفاده از روش‌های حرارت‌دهی حجمی به‌جای حرارت‌دهی از طریق سطح نیز می‌تواند منجر به بازیافت الیاف باکیفیت بهتر شود. در روش‌های حرارت‌دهی حجمی گرما به‌طور مستقیم در داخل خود ماده تولید می‌شود و از طریق گرادیان دمایی یا سطوح داغ منتقل نمی‌شود. این روش‌ها مزایای زیادی در مقایسه با گرم کردن از طریق سطح دارند. در روش‌های حرارت‌دهی حجمی، ایجاد حرارت، سریع‌تر و یکنواخت‌تر است. انرژی به‌طور مستقیم هدایت می‌شود و در ضمن این روش‌ها دوستدار محیط‌زیست هستند. یکی از روش‌های حرارت‌دهی حجمی که برای بازیافت پسماند تخته فیبر با دانسیته متوسط می‌تواند استفاده شود، فرایند حرارت‌دهی اهمیک^۵ است. اساس کار در حرارت‌دهی اهمیک بر مبنای حضور یون‌ها و انتقال جریان الکتریکی به واسطه آنهاست. نمک کلرید سدیم از متداول‌ترین منابع تأمین یون‌ها در این سیستم است (Zandi and Niakousari, 2012). در این روش، محیط واکنش به‌عنوان

زباله دورریز و یا سوزانده می‌شود. وجود مواد شیمیایی سمی در ترکیب رزین مورد استفاده در ساخت تخته فیبر با دانسیته متوسط و همچنین تصاعد گاز متان در اثر تخریب بیولوژیکی این پسماند منجر به اثرات نامطلوب زیست‌محیطی می‌گردد (Athanassiadou et al., 2005). از سوی دیگر تقاضای صنعتی برای مواد چوبی مناسب ساخت تخته فیبر با دانسیته متوسط در بعضی از کشورهای آسیایی وضعیت بحرانی دارد. رشد بالای اقتصادی در آسیا منجر به افزایش تقاضا برای مواد اولیه چوبی شده است. مواد چوبی، ماده اولیه بسیاری از صنایع مثل خمیرکاغذ، انرژی‌های زیستی، الوار و کامپوزیت‌های چوبی می‌باشند. به‌علاوه اینکه افزایش آگاهی در مورد مسائل زیست‌محیطی و نگرانی در مورد سلامت جنگل‌ها، تنوع حیات وحش و تولید زیست‌توده، تحقیقات را به سمت یافتن جایگزین منابع چوبی نیز سوق داده است (Rohdes and Gehrds, 1995). لازم به توضیح است که کارخانه‌های تولیدکننده تخته فیبر با دانسیته متوسط در کشور ما همواره با مشکل کمبود ماده اولیه مواجه‌اند و منابع چوبی جنگل‌های موجود پاسخگوی نیازهای بخش صنعت چوب نمی‌باشد که با توجه به راه‌اندازی واحدهای جدید این مشکل دو چندان خواهد شد (Habibi et al., 2007). پسماند تخته فیبر با دانسیته متوسط منبع قابل توجهی از فیبر در خود دارند، از این رو از قابلیت خوبی برای جایگزین شدن به‌عنوان ماده اولیه برای تولید تخته فیبر با دانسیته متوسط برخوردارند. آنچه در مورد بازیافت این پسماند حائز اهمیت است، دستیابی به روشی عملی است که قابلیت اجرا در صنعت را داشته باشد، مصرف انرژی آن کم باشد، سریع باشد و در ضمن، کیفیت الیاف به‌دست آمده از آن مناسب و قابل مقایسه با الیاف اولیه باشد. به‌نحوی که بیشتر روش‌های مورد مطالعه در تحقیقات گذشته بر اساس روش‌های بخارزنی^۱، دفیبراسیون^۲ و خمیرسازی^۳ بوده است که در نتیجه این روش‌ها الیاف بازیافتی بخشی از

1-Steaming

2- Defiberation

3-Pulping

4- Hydrothermal

5-Ohmic

در فرایند بازیافت، الیاف در مرحله پرس و در زمان حرارت‌دهی برای بازیافت در دمای بالا حرارت می‌بینند، انتظار می‌رود که ترشوندگی الیاف دستخوش تغییر شود. از این رو در این مطالعه خاصیت ترشوندگی الیاف بازیافتی مورد بررسی و مقایسه با الیاف بکر قرار گرفت. هدف از این مطالعه بررسی ویژگی‌های شیمیایی و ترشوندگی الیاف پس از بازیافت و مقایسه آن با الیاف بکر می‌باشد.

مواد و روش‌ها

به منظور انجام این تحقیق، پسماند حاصل از کناره‌بری ورق‌های تخته فیبر با دانسیته متوسط و الیاف بکر (به منظور مقایسه با الیاف بازیافتی) از کارخانه پارس تویان تهیه شده و به آزمایشگاه فرآورده‌های مرکب چوبی گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ دانشگاه تهران منتقل شدند. پسماندها به قطعات کوچک تر برش داده شد و بعد به شکل چیپس خرد شدند. لازم به ذکر است ماده اولیه تشکیل‌دهنده این پسماند الیاف حاصل از مخلوط گونه‌ها و چسب مورد استفاده در آن رزین اوره فرمالدهید در ترکیب با کاتالیزور کلرور آمونیوم می‌باشد.

به منظور بازیافت به روش هیدروترمال قطعات خرد شده پسماند، توسط دستگاه بخارزن (اتوکلاو) موجود در آزمایشگاه در دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد و به مدت ۱۵۰ دقیقه بخارزنی شده و پس از آن الیاف به کمک دستگاه دفیبراتور موجود در این آزمایشگاه جداسازی شدند.

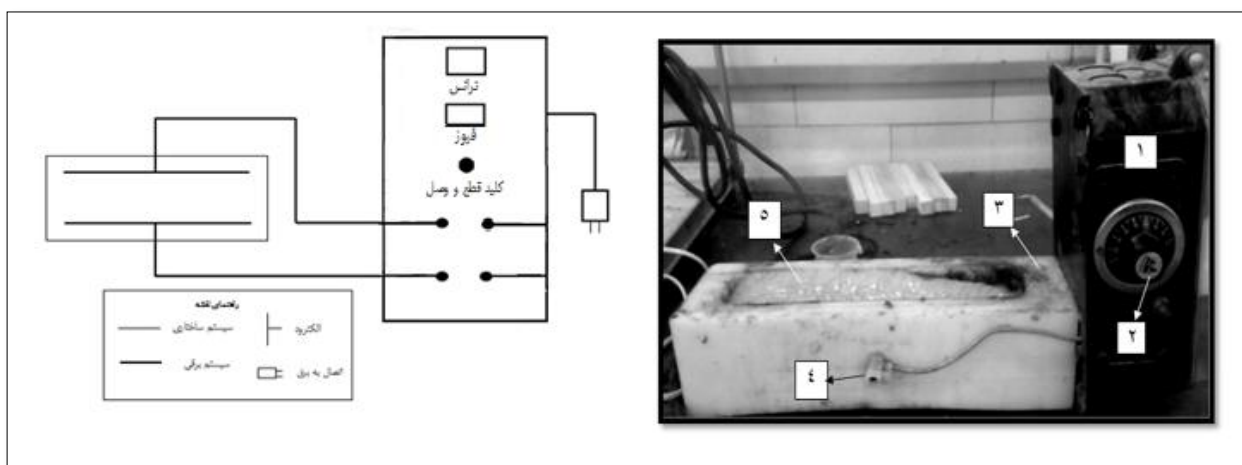
برای بازیافت به روش حرارت‌دهی اهمیت قطعات خرد شده پسماند، ابتدا در آب گرم با دمای جوش به مدت ۳۰ دقیقه پیش حرارت‌دهی شده و بعد در دستگاه هیتر^۱ اهمیت که در مقیاس آزمایشگاهی ساخته شده (در دو زمان ۲ و ۴ دقیقه) تحت حرارت‌دهی اهمیت قرار گرفتند (شکل ۱). الکترولیت مورد استفاده در حرارت‌دهی به روش اهمیت محلول آب و نمک بود، در واقع از نمک طعام (کلرید سدیم) به عنوان یون انتقال‌دهنده استفاده شد.

یک ایجادکننده مقاومت الکتریکی عمل می‌کند و از طریق عبور الکتریسیته از آن گرما ایجاد می‌شود. از روش حرارت‌دهی اهمیت به عنوان روش جدید و کم آسیب برای بازیافت پسماند تخته فیبر با دانسیته متوسط می‌توان استفاده کرد.

لازم به ذکر است که تنها آسیب مکانیکی الیاف و کاهش طول یا خرد شدن آنها منجر به افت ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی تخته‌های حاصل نمی‌شود، بلکه تغییر احتمالی در ویژگی‌های شیمیایی الیاف و همچنین ترشوندگی الیاف نیز ممکن است اثر منفی روی کیفیت تخته‌های حاصل داشته باشد. بنابراین باید توجه داشت که الیاف بازیافت شده از پسماند تخته فیبر با دانسیته متوسط طی دو فرایند متفاوت در معرض شرایط شدید حرارتی قرار می‌گیرند، یکبار در زمان ساخت تخته‌های اولیه در مرحله پرس و بار دیگر در تیمار حرارتی برای از بین بردن اتصالات رزین به منظور بازیافت. همچنین این الیاف مراحل پرس و چسب‌زنی را پشت سر گذاشته‌اند. این شرایط علاوه بر خرد شدن و کوتاه شدن طول الیاف، منجر به تغییر ساختار شیمیایی، ترکیب شیمیایی و ترشوندگی الیاف می‌شود. ویژگی‌های شیمیایی الیاف چوبی تأثیر بسزایی در کیفیت تخته فیبر با دانسیته متوسط حاصل دارد. ویژگی‌های شیمیایی روی شکل‌گیری اتصالات، ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی و حرارتی چوب تأثیر دارند (Lang et al., 2013). علاوه بر این ویژگی‌های شیمیایی الیاف می‌تواند پلیمر شدن رزین را نیز تحت تأثیر خود قرار دهد.

یکی از مراحل اصلی تشکیل اتصالات چسب، خاصیت ترشوندگی است. تر شدن مرحله‌ای است که فقط مربوط به چسب نیست بلکه رابطه مستقیم با کیفیت سطح چوب دارد (Latibari, 2007).

ترشوندگی چوب و الیاف چوبی می‌تواند تحت تأثیر عوامل مختلف قرار بگیرد، از جمله انرژی سطح و وجود گروه‌های هیدروکسیل آزاد. حرارت‌دهی چوب یکی از عوامل بسیار مهمی است که می‌تواند روی انرژی سطحی و گروه‌های قطبی چوب و در نتیجه ترشوندگی آن تأثیر بگذارد. با توجه به اینکه



شکل ۱- تصویر دستگاه اهمیک در زمان حرارت‌دهی پسماند تخته فیبر با دانسیته متوسط؛ ۱: سیستم برق دستگاه؛ ۲: پیچ تنظیم دمای دستگاه؛ ۳: محفظه تیمار؛ ۴- قلاب مسی پوشش‌دار برای اتصال الکترودها به بدنه؛ ۵- مخلوط پسماند تخته فیبر با دانسیته متوسط و الکترولیت در زمان حرارت‌دهی توسط جریان برق

صفحه‌ای خشک شده و در کیسه‌های پلاستیکی مقاوم و غیرقابل نفوذ بسته‌بندی شدند. در مجموع چهار تیمار از عوامل متغیر به دست آمد که علائم مربوط به آنها در جدول ۱ مشاهده می‌شود.

پس از آگیری اولیه، الیاف بازیافت شده روی توری‌های سیمی پهن شدند تا رطوبت آنها تا حد ممکن کاهش یابد. پس از آن کلیه الیاف بکر و بازیافتی در دمای ۱۰۳ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت در خشک‌کن

جدول ۱- تیمارهای حاصل و علائم مربوط به آنها

نوع الیاف	علامت تیمار
الیاف بکر	OF
الیاف بازیافت شده به روش حرارت‌دهی اهمیک در زمان ۲ دقیقه	RF-1
الیاف بازیافت شده به روش حرارت‌دهی اهمیک در زمان ۴ دقیقه	RF-2
الیاف بازیافت شده به روش هیدروترمال	RF-3

پودر از استاندارد شماره ۸۸ om — T ۲۶۴ آیین‌نامه TAPPI استفاده شد.

تعیین مواد استخراجی محلول در حلال آلی: تعیین مواد استخراجی محلول در حلال آلی طبق استاندارد شماره ۹۷ om — T ۲۰۷ آیین‌نامه TAPPI انجام شد.

تعیین مقدار سلولز: اندازه‌گیری سلولز طبق استاندارد شماره ۸۸ om — T ۲۶۴ آیین‌نامه TAPPI انجام شد.

تعیین ترکیب شیمیایی الیاف

ترکیبات شیمیایی اندازه‌گیری شده در مورد الیاف بکر و بازیافتی و روش‌های استاندارد مورد استفاده برای اندازه‌گیری این ترکیبات به شرح زیر بوده است:

تهیه پودر: تهیه پودر طبق استاندارد شماره ۸۵ om — T ۲۶۷ آیین‌نامه TAPPI انجام شد.

تعیین درصد رطوبت نمونه: برای تعیین درصد رطوبت

میکرولیتر روی سطح الیاف به شدت فشرده شده چکانده شد و در لحظه رهاسازی قطره روی سطح (صفر ثانیه) با استفاده از یک دوربین دیجیتال ساخت شرکت Dataphysics مدل OCA 15 plus از آن تصویربرداری شد. برای هر نوع از الیاف سه تصویر گرفته شد. تصاویر بدست آمده در نرم افزار image j بررسی شده و زاویه تماس بین سطح و قطره از طریق رسم خطوط مماس اندازه گیری شد. نتایج بدست آمده به کمک تکنیک تجزیه واریانس و با استفاده از آزمون دانکن مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. اثر نوع روش بازیافت بر خواص مورد مطالعه در سطح یک و پنج درصد مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

نتایج

ترکیبات شیمیایی الیاف

نتایج مربوط به مقادیر هریک از ترکیبات شیمیایی چوب شامل لیگنین، سلولز، همی سلولزها و مواد استخراجی در جدول ۲ ارائه شده است.

همان طور که مشاهده می شود، مقدار مواد استخراجی و همی سلولزهای الیاف بازیافتی (RF-1، RF-2 و RF-3) به شکل مشخصی کمتر از الیاف بکر می باشد و لیگنین نیز تا حدودی دستخوش تغییر شده و در زمان بازیافت مخصوصاً در روش هیدروترمال (RF-3) کاهش یافته است اما مقدار سلولز تغییر مشخصی نداشته است.

تعیین مقدار لیگنین: اندازه گیری لیگنین طبق استاندارد شماره ۹۷ om - ۲۲۲ T آیین نامه TAPPI انجام شد.

تعیین مقدار هولوسلولز: به منظور تعیین مقدار هولوسلولز از استاندارد 75.T-um 249 استفاده شد.

بررسی ساختار شیمیایی سطح الیاف

به منظور بررسی تغییر ساختار شیمیایی پلیمرهای تشکیل دهنده سطح الیاف، بعد از بازیافت از آزمون طیف سنجی با مادون قرمز استفاده شد.

به این منظور از دستگاه طیف سنجی تبدیل فوریه مادون قرمز مدل Spectrum RX I ساخت شرکت PerkinElmer استفاده شد. از الیاف آسیاب شده به وسیله برمیدپتاسیم قرص هایی تهیه شد، به این ترتیب که پس از مخلوط کردن نمونه پودری شکل با حلال برمید پتاسیم و ساییدن آنها داخل هاون عقیق مقداری از نمونه (حدود ۰/۰۰۸ گرم از آن) به وسیله دستگاه قرص ساز به قرص شیشه ای تبدیل شد. قرص داخل نگهدارنده نمونه و بعد داخل دستگاه FT-IR قرار داده شد. دستگاه طیف نمونه ها را گرفته و دیاگرام آنها را ارائه می دهد.

مطالعه خاصیت ترشوندگی الیاف

به منظور بررسی خاصیت ترشوندگی الیاف، زاویه تماس قطره آب با سطح الیاف مورد بررسی قرار گرفت. برای اندازه گیری زاویه تماس، قطره آب با حجم ۴

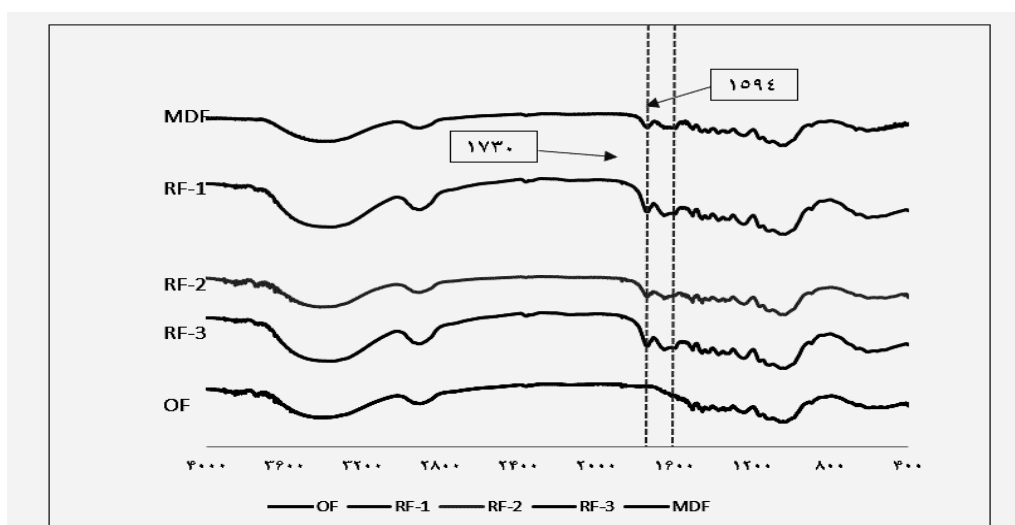
جدول ۲- ترکیب شیمیایی الیاف بکر و بازیافتی

لیگنین (%)	همی سلولزها (%)	سلولز (%)	مواد استخراجی (%)	نوع الیاف
۲۳/۴	۲۰/۱۴	۴۶/۱۵	۳/۸	OF
۲۲/۴۵	۱۵/۴۲	۴۵/۹۰	۱/۵۷	RF-1
۲۲/۳	۱۴/۳۵	۴۵/۱۲	۱/۴	RF-2
۱۹/۵	۱۴/۴۴	۴۶/۴۲	۱/۲۲	RF-3

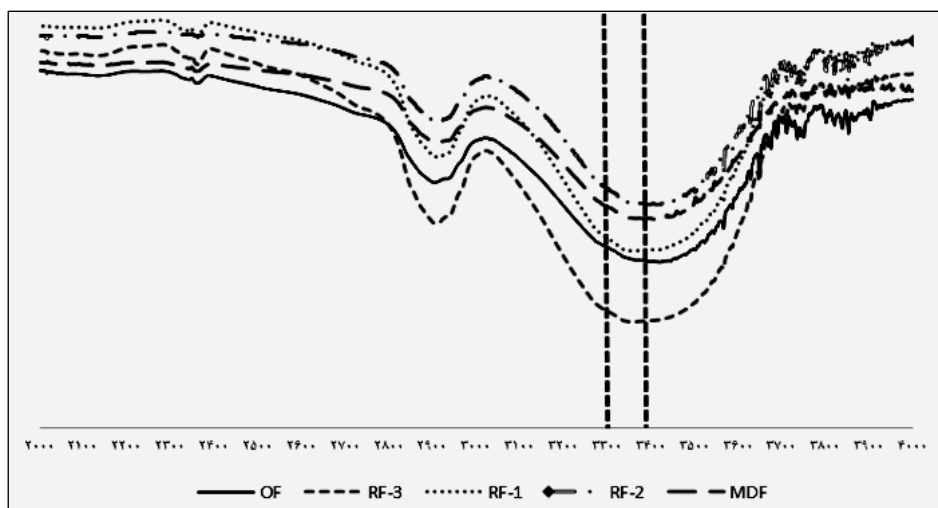
بیک‌ها در طول موج ۲۰۰۰ تا 4000cm^{-1} ، نمودار مربوط به این دامنه طول‌موج جداگانه نیز ترسیم شده است تا تغییرات بین طیف‌های به‌دست‌آمده قابل تشخیص باشد. مقایسه طیف مربوط به الیاف بکر OF با الیاف بازیافت شده به روش اهمیک ۲ دقیقه، اهمیک ۴ دقیقه و هیدروترمال (به ترتیب RF-1، RF-2، RF-3 و تخته فیبر با دانسیته متوسط نشان‌دهنده تفاوت‌هایی بین این طیف‌ها بود که در ذیل شرح داده شده است.

ساختار شیمیایی سطح الیاف

نتایج مربوط به طیف‌سنجی مادون‌قرمز الیاف بکر و بازیافتی به‌منظور مقایسه گروه‌های عاملی و ساختار شیمیایی سطح ارائه شده است (شکل ۲ و ۳). با توجه به اینکه تفاوت ساختار شیمیایی الیاف بکر و بازیافتی می‌تواند حاصل مرحله پرس و یا مرحله بازیافت باشد، به‌منظور بررسی این موضوع، از خود پسماند تخته‌ها (تخته فیبر با دانسیته متوسط) نیز طیف گرفته شد. به دلیل تراکم شدید



شکل ۲- طیف‌سنجی مادون‌قرمز الیاف بکر، بازیافتی و تخته فیبر با دانسیته متوسط در طول موج ۴۰۰۰ تا ۴۰۰



شکل ۳- طیف‌سنجی مادون‌قرمز الیاف بکر، بازیافتی و تخته فیبر با دانسیته متوسط در طول موج ۴۰۰۰ تا ۲۰۰۰

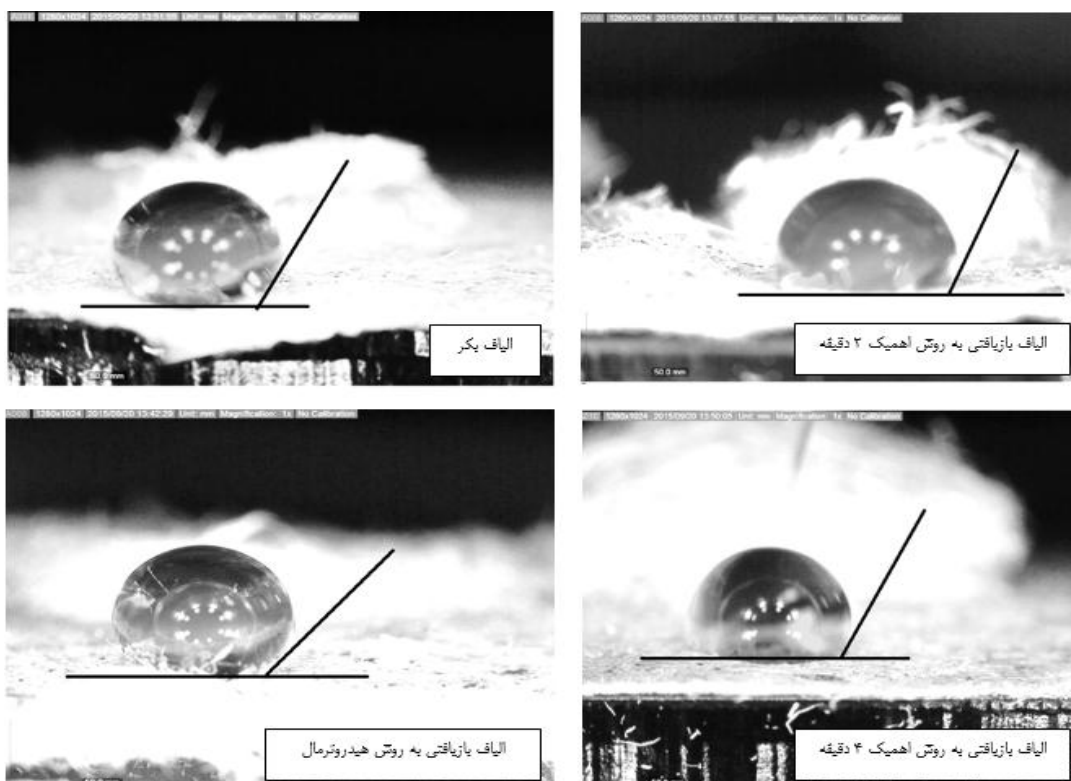
خاصیت ترشوندگی الیاف

تصاویر مربوط به وضعیت قطره آب روی سطح الیاف بکر و بازیافتی در شکل ۴ نشان داده شده است.

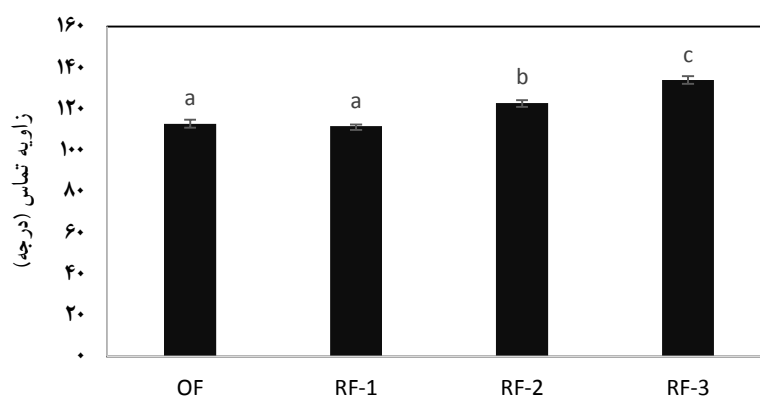
نتایج بررسی زاویه تماس قطره در سطح الیاف بازیافتی و بکر بیانگر افزایش معنی دار این ویژگی در الیاف بازیافت شده مخصوصاً الیاف بازیافت شده به روش هیدروترمال (RF-3) می باشد. در واقع می توان این طور بیان کرد که با افزایش زاویه تماس قطره، کاهش ترشوندگی در سطح نمونه ها رخ می دهد.

مقادیر میانگین زوایای تماس قطره آب روی الیاف در شکل ۵ ارائه شده است.

پیک 1733 cm^{-1} که در الیاف بازیافتی و تخته فیبر با دانسیته متوسط مشاهده می شود نشان دهنده وجود گروه کربونیل استری است (Bodirlau et al., 2009)؛ and (Militz, 2005; Tjeerdsma) این پیک در الیاف بکر دیده نمی شود. پیک 1594 cm^{-1} که در الیاف بازیافتی و تخته فیبر با دانسیته متوسط مشاهده می شود و در الیاف بکر دیده نمی شود، نشان دهنده وجود فورفورال است (Muller et al., 2009). جابجایی جزئی پیک 3400 cm^{-1} در الیاف بازیافتی که مربوط به گروه های هیدروکسیل است به 3375 cm^{-1} می تواند نشان دهنده وجود رزین باقی مانده روی سطح الیاف باشد، زیرا در طیف مربوط به رزین اوره فرمالدهید این پیک نشان دهنده ارتعاش N-H می باشد (Muller et al., 2009; Raval et al., 2005).



شکل ۴- تصویر زاویه تماس بین قطره آب و سطح الیاف



شکل ۵- مقایسه زاویه تماس در الیاف بکر و بازیافتی

بحث

به تخریب همی سلولز می شود. همی سلولزها نقش عمده ای در تشکیل اتصالات هیدروژنی با چسب دارند. البته کاهش همی سلولزها منجر به کاهش گروه های هیدروکسیل قابل دسترس می شود (Popovic *et al.*, 2015). کاهش در تعداد گروه های هیدروکسیل قابل دسترس منجر به کاهش قابلیت تشکیل اتصال بین چوب و چسب می شود. علاوه بر این حذف گروه های استیل و مواد استخراجی، pH چوب را تغییر می دهد که می تواند روی رفتار گیرایی چسب تأثیر بگذارد (Popovic *et al.*, 2015). لیگنین در دامنه گسترده ای از دما که از دماهای خیلی پایین شروع می شود تا حدودی تجزیه می شود (Nassar and Mackey, 1984). لیگنین به سختی تجزیه می شود و تجزیه آن به آرامی از دمای محیط شروع می شود و تا ۹۰۰ درجه تجزیه کامل آن رخ می دهد (Wang *et al.*, 2007; Bodirlau *et al.*, 2009; Yang *et al.*, 2007).

علت تجزیه سریع تر همی سلولزها و لیگنین نسبت به سلولز ساختار آمورف (بی شکل) این ترکیبات می باشد (Hill, 2006). لیگنین نقش مهمی در سازوکار خود چسبندگی ایفا می کند و به دلیل واکنش های تراکمی که در داخل الیاف و بین الیاف در زمان پرس داغ اتفاق می افتد به بهبود ویژگی های تخته کمک می کند (Okuda *et al.*, 2006). عمل اتصال عرضی بین لیگنین و سایر پلیمرها، مقاومت تخته فیبرهای با دانسیته متوسط ساخته شده را

نتایج مربوط به بررسی ترکیب شیمیایی الیاف (جدول ۲) نشان داد که بیشترین تغییر در الیاف بازیافت شده در مقدار همی سلولز و پس از آن در مقدار لیگنین رخ داده است. در حالی که مقدار سلولز الیاف بکر و بازیافتی تفاوت مشخصی را نشان نمی دهد. البته تفاوت در ماهیت ساختار و طبیعت شیمیایی این سه ترکیب باعث تفاوت در رفتار حرارتی آنها می شود (MCKendry, 2002; Rao and Sharma, 2002). پروسه بازیافت که در این تحقیق در دمای ۱۰۰ تا ۱۰۵ درجه سانتی گراد انجام شده تأثیری بر مقدار سلولز نداشته است؛ و در هنگام پرس که دمای ۱۸۰ درجه سلسیوس اعمال شده است، تغییری در ساختار سلولز ایجاد نشده است. پیرولیز سلولز در دامنه دمایی بالاتر (۳۱۵ تا ۴۰۰ درجه) اتفاق می افتد. همی سلولزها به دلیل وجود گروه های استیل و ساختار آمورف خود آسیب پذیرند. در تیمار حرارتی ملایم و در محیط اسیدی همی سلولزها بسیار راحت تر از سلولزها هیدرولیز می شوند (Tjeerdsma and Militz, 2005). عمده کاهش وزن آن در دامنه دمایی ۲۰۰ تا ۳۱۵ درجه اتفاق می افتد. در این تحقیق کاهش مقدار همی سلولز در اثر بازیافت مشاهده شده است که علت آن دمای بالا و محیط اسیدی در زمان پرس در پروسه ساخت اولیه تخته هاست، در واقع قرار گرفتن الیاف تشکیل دهنده تخته در معرض حرارت بالای پرس و محیط اسیدی منجر

درجه) و این منجر به فرایند استری شدن تحت شرایط اسیدی شده است و به همین دلیل پیک کربونیل ظاهر شده است. تیمار حرارتی دوباره در ۱۰۵ درجه و ۱۰۰ درجه به دلیل کم بودن دما تأثیری بر این واکنش‌ها ندارد. پیک مشاهده شده در طول موج ۱۵۹۶ در تخته فیبر با دانسیته متوسط و الیاف بازیافتی نشان‌دهنده ارتعاشات کششی C=O آروماتیک است و تغییر مقدار فورفورال را نشان می‌دهد. فورفورال از هیدروژناسیون پنتوزها به وجود می‌آید. در شرایط اسیدی و دمای بالا پنتوزها به فورفورال تبدیل می‌شوند. در اثر پرس سطح تخته‌ها به دمای ۲۰۰ درجه می‌رسد که می‌تواند منجر به باز شدن پیوندهای C-O پلی اوز و تشکیل فورفورال شود. در واقع جذب در ۱۵۹۶ نشان‌دهنده تغلیظ پنتوزان است (Muller et al., 2009).

در طیف مربوط به تخته فیبر با دانسیته متوسط شدت پیک‌های ناحیه ۳۶۰۰ تا ۴۰۰۰ کاهش یافته‌اند که علت آن می‌تواند حذف گروه‌های هیدروکسیل در اثر حذف آب از الیاف و همچنین تخریب همی سلولزها باشد (Tjeerdsma and Militz, 2005). در کل می‌توان نتیجه گرفت که تفاوت موجود بین ساختار شیمیایی الیاف بکر و بازیافتی مربوط به پروسه بازیافت نیست، به همین علت، تفاوت قابل ملاحظه‌ای بین طیف به‌دست‌آمده از الیاف بازیافتی به روش همیک و هیدروترمال مشاهده نمی‌شود. تغییرات ساختار شیمیایی الیاف مربوط به پروسه ساخت تخته از آن‌هاست و در واقع زمانی که الیاف در پرس داغ تحت حرارت بالا و در محیط اسیدی قرار می‌گیرند، تغییراتی در ساختار آنها ایجاد می‌شود که هم در تخته‌های ساخته‌شده و هم در الیاف بازیافت شده قابل مشاهده است. در واقع می‌توان گفت تیمار حرارتی انجام‌شده در زمان بازیافت تغییر قابل ملاحظه‌ای در ساختار شیمیایی الیاف به وجود نیاورده است. نتایج مربوط به بررسی ترشوندگی (شکل ۴ و ۵) نشان‌دهنده کاهش ترشوندگی الیاف پس از بازیافت بود. البته کاهش ترشوندگی در اثر تیمارهای حرارتی را می‌توان به افزایش کریستالینته سلولز در این فرایند نسبت داد. همچنین دلیل کاهش ترشوندگی می‌تواند صورت‌بندی زیستی بسپارهای

فراهم می‌کند (Luo et al., 2014). نتایج (Zhang et al., 2013) نشان داد که با کاهش مقدار لیگنین مدول الاستیسیته الیاف منفرد کاهش یافت و مقاومت کششی آنها افزایش یافت. ویژگی‌های مکانیکی الیاف چوبی تأثیر بسزایی بر کارایی و ویژگی‌های فراورده‌های مرکب فیبری ساخته‌شده از آنها دارد. بررسی طیف FTIR حاصل از الیاف بکر و بازیافتی (شکل ۲ و ۳) نشان‌دهنده افزایش کربونیل و فورفورال و کاهش هیدروکسیل در الیاف بازیافتی نسبت به الیاف بکر بود.

در الیاف بکر، در مرحله تیمار حرارتی (تبدیل چوب به الیاف مناسب برای ساخت تخته فیبر با دانسیته متوسط) گسسته شدن گروه‌های استیل همی سلولزها اتفاق می‌افتد (Kollmann and Fengel, 1965). البته هر اندازه دما بیشتر باشد استیل زدایی با شدت بیشتری رخ می‌دهد (Bodirlau et al., 2009). در زمان ساخت تخته از این الیاف (دمای بالا در محیط نسبتاً خشک) استری شدن رخ می‌دهد که نتیجه آن افزایش شدت پیک کربونیل استری در 1740 cm^{-1} و البته تغییر موقعیت این پیک به طول موج‌های پایین‌تر (۱۷۳۰) است. بنابراین می‌توان گفت در این مرحله گروه‌های کربونیل جدید ایجاد می‌شوند. در واقع اسید آزادشده با گروه‌های هیدروکسیل وارد واکنش می‌شود (Bodirlau et al., 2009).

نتایج FTIR در مورد الیاف بکر و بازیافتی به‌وضوح گویای این است که فرایند استری شدن رخ داده است. همان‌طور که در شکل ۴-۶ مشاهده می‌شود پیک 1740 در الیاف بازیافتی و تخته فیبر با دانسیته متوسط دیده می‌شود اما این پیک در طیف مربوط به الیاف بکر (OF) مشاهده نمی‌شود. الیاف بکر الیافی هستند که یکبار تحت تیمار حرارتی در شرایط مرطوب قرار گرفته‌اند (در زمان تبدیل چوب به الیاف) و در واقع در آنها استیل زدایی رخ داده است و پیک کربونیل در آنها به شدت کاهش یافته یا حذف شده است؛ اما در مورد الیاف بازیافتی این الیاف پس از تبدیل چوب به الیاف در زمان پرس، تحت حرارت بالا و در شرایط غیر مرطوب و اسیدی قرار گرفته‌اند (دمای 180

- (2005) Medium Density Fibreboards (MDF) from Recycled Fibres, www.Academia.edu, 9pp.
- Bodirlau. R., Teaca. C.A., Spiridon. I., (2009) Preparation and characterization of composites comprising modified hardwood and wood polymers/poly(vinyl chloride), *Bioresources*, 4 (4): 1285-1304.
- Dix. B., Schafer. M., Roffael. E., (2001) Using fibers from waste fiberboards pulped by a thermo-chemical process to produce medium density fiberboard (MDF). *Holz als Roh und Werkstoff*, 59(4):276-276.
- Habibi. M.R, Mahdavi. S, Hoseinkhani. H, Sepidehdam. M.J., (2007) Investigation the possibility of MDF production from Bamboo fibers, *Iranian journal of wood and paper science research*, 19(2): 225-242.
- Hill.C.A.S., (2006) Wood modification: Chemical, thermal and other processes, John Wiley & Sons, New York.
- 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): 173-181.
- Jahan latibari. A., (2007) Science and technology of adhesion for lignocellulosic substances, publication of Azad University, 348pp.
- Kollmann. F., Fengel. D., (1965) *Anderungen der chemischen Zusammensetzung von Holz durch thermische Behandlung*, *Holz Roh- Werkstoff* (23)461-468.
- Lang Q, Zeng B, Xinwei M, Xue Z.H, Pu J. 2013. Effect of urea formaldehyde prepolymer on fast growing wood. *Wood research J*. 58 (3): 351-360.
- Luo.H., You. L., Wang. N., Zhang. H., Lu. X., (2014) Manufacture of binderless fiberboard made from bamboo processing residues by explosion pretreatment, *Wood Research J*, 59(5): 861-870.
- Lykidis. C.H., Grigoriou. A., (2008) Hydrothermal recycling of waste and performance of recycled wooden particleboard, *Waste management Journal*, 28: 57-63.
- Mantanis.G., Athanassiadou. E., Nakos. P., Coutinho. A., (2004) A new recycling process for waste panels, In: Proc. of European COST E31 Conference: "Management of recovered wood". Ed. C. Gallis, Thessaloniki, Greece: 204-210.
- McKendry.p., (2002) Energy production from biomass (part1): overview of biomass. *Bioresource Technology*, 83: 37-46.
- Michanickl. A., Boehme. C., (2003) Method for recovering chips and fibers of bonded wood materials involves passing of steam through a vessel with such materials which have been soaked

چوب به ویژه پلاستیکی شدن لیگنین باشد (Hoseinifard *et al.*, 2015). انرژی سطحی چوب از عوامل مؤثر بر ترشوندگی سطح است و کاهش آن کاهش ترشوندگی سطح را در پی دارد.

انرژی سطحی اجزای قطبی به طور قابل ملاحظه ای بالاتر از مؤلفه های غیر قطبی می باشد، در زمان تیمارهای حرارتی گروه های قطبی در اثر حرارت تخریب می شوند (Hoseinifard *et al.*, 2015)، در نتیجه الیاف بازیافت شده به روش هیدروترمال، به دلیل شرایط حرارت دهی و تخریب همی سلولزها و کاهش گروه های هیدوکسیل در دسترس، قطبیت کمتری نسبت به الیاف بکر دارند که نتیجه آن کاهش ترشوندگی سطح است. در ضمن همان طور که در نتایج مربوط به FT-IR گفته شد، در الیاف بازیافتی استری شدن رخ داده که تا حدودی بر کاهش رطوبت پذیری الیاف تأثیر گذاشته، در نتیجه ترشوندگی الیاف را نیز تا حدودی تحت الشعاع قرار داده است. لازم به ذکر است کاهش ترشوندگی منجر به بروز اشکال در توزیع چسب روی سطح الیاف و افت کیفیت تخته های حاصل می گردد.

با توجه به نتایج به دست آمده می توان گفت، الیاف بازیافت شده به هر دو روش هیدروترمال و همیک ویژگی های شیمیایی و ترشوندگی متفاوتی با الیاف بکر دارند که روی کیفیت تخته های حاصل از آنها تأثیر مستقیم دارد؛ بنابراین در به کارگیری الیاف بازیافتی علاوه بر کاهش طول و قطر الیاف باید این موارد را نیز مدنظر داشت. انجام تیمارهای سطحی برای افزایش قطبیت و ترشوندگی الیاف، استفاده از عوامل جفت کننده به منظور بهبود اتصالات در مرحله چسب زنی و همچنین استفاده از مقدار رزین بیشتر در ساخت تخته، از جمله راهکارهایی هستند که برای بهبود کیفیت تخته فیبر با دانسیته متوسط ساخته شده از الیاف بازیافتی با توجه به تغییر ویژگی های این الیاف نسبت به الیاف بکر، پیشنهاد می شوند.

منابع مورد استفاده

-Athanassiadou. E., Roffael. E., and Manthanas. G.,

- characterization and composites from resorcinol – urea-formaldehyde-casein resin, *Iranian Polymer Journal*, 14(9): 775-784.
- Roffael.E., Dix. B., Behn. C., Bar.G., (2009) IR-Spektra von TMP und CTMP hergestellt aus kiefernholz und mitteldichten faser platen (MDF). *Eur J Wood Prod.* 67: 233-237.
- Rohdes. G.T.A., Gehrts. E., (1995) MDF - A new member of the family of woodbased panels. *Tappi Proceedings, European plastic laminates forum*: 9-15.
- Tjeerdsma, B. F., and Militz, H.(2005)“Chemical changes in hydrothermal treated wood: FTIR analysis of combined hydrothermal and dry heat-treated wood,” *Holz als Roh- und Werkstoff* ,63(2), 102-111.
- Wang.S., Liu. Q., Luo. Z., Wen. L., Cen.K., (2007) Mechanism study on cellulose pyrolysis using thermogravimetric analysis coupled with infrared spectroscopy. *Front Energy Power Eng. China*, 1(4): 413-419.
- Yang.H., Yan.R., Chen. H., Lee. H.D., Zheng.C. (2007) Characteristics of hemicelluloses, cellulose and lignin pyrolysis, *Fuel Processing Technology*, 90:939-946.
- Zandi. M., Niakousari. M., (2012) Design, manufacture and performance evaluation of a batch ohmic heating system, *Journal of good science technology*, 36 (9): 55-63.
- Zhang. S.U., Fei. B.H., Yu. Y., Cheng.H. Wang. C.G., (2013)Effect of the amount of lignin on tensile properties of single wood fibers, *For Sci pract J*, 15(1): 56-60.
- with a heated impregnationsolution, Patent No. DE10144793, WO03026859.
- Moradikia, S., Doosthoseini,K., Jahan Latibari,A., (2005) Investigation on possibility of utilization of MDF residues in its manufacturing process, *Journal of the Iranian Natural Resources*, 61(2)453-463. (In Persian).
- Muller.G., Schopper.C.H., Vos. H., Kharazipour., A and Polle.A., (2009) FTIR-ATR spectroscopic analyses of changes in wood properties during particle and fiberboard production of hard and softwood trees, *bioresources*, 4(1):49-71.
- Nassar. M.M., Mackay.G. D., (1984) Mechanism of thermal decomposition of lignin, *Wood Fiber Sci*, 16: 441-453.
- Nicewics. D., Leszek. D., (2010) Recycling of insulation boards by reuse *Annals of Warsaw University of Life Sciences – SGGW Forestry and Wood Technology*, 72: 57-61.
- Okuda. N., Hori. K., Sato. M.,(2006) Chemical changes of kenaf core binderless boards during hot pressing : effects on the binderless board properties, *J Wood Sci*: 1-6, DOI 10.1007/s10086-005-07445.
- Popovic. J., Popvic. M., Diporovic-Momeilavic. M., Gavrilovic-Grmusa.I., (2015) Effects of the chemical treatment conditions of the narrow leaved Ash on the lap shear strength, *Wood research J*, 60 (4): 543-554.
- Rao.T.R., Sharma.A., (2002) Pyrolysis rates of biomass materials, *Energy*, 23(11): 973-978.
- Raval.D.K., Narola.B.N., Patel.A.J., (2005) Synthesis,

The effect of recycling process on chemical properties and wettability of fibers from MDF wastes

M. Ahmadi^{1*}, B. Moezzi² and M. Sharari³

1*-Corresponding author, Assistant Prof., Natural resources department, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Iran, Email: m.ahmadi@uma.ac.ir

2-Ph.D., graduated. Department of wood science and technology, Faculty of Natural Resources. University of Tehran, Iran

3-Assistant Prof., Natural resources department, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Iran

Received: Feb., 2017

Accepted: Nov., 2017

Abstract

In this study, the properties of fibers recycled from MDF wastes as one of the important resources of raw materials for MDF production were investigated. Two different methods including ohmic heating (for 2 and 4 minutes) and hydrothermal method (at 105°C for 150 minutes) were utilized for recycling the MDF wastes and the virgin fibers were used as control sample. The chemical composition of fibers (lignin, cellulose and hemicellulose content), as effective variable on quality of fibers was measured. Also for probing the chemical characteristic of fiber surface, FT-IR test was utilized. In addition, the wettability of fibers was determined using water contact angles on fibers surface. The results showed that recycling process changed the chemical composition of fibers. Most of the changes were occurred in hemicellulose and extractives content. The results of FT-IR test revealed the existence of more carbonyl groups and furfural and lower amount of hydroxyl groups in recycled fibers compared to virgin fibers due to esterification process. The wettability of fibers was decreased after recycling process especially in hydrothermal method.

Keywords: Recycling, wastes of medium density fiber boards, wettability, FT-IR, chemical composition.