Archive of SID

بازیافت پسماند تخته فیبر با دانسیته متوسط با استفاده از دیگ پخت و تولید نانوکریستال سلولز از الیاف بازیافتی

بیتا معزی‌پور [۱]
معراج شرری[۱*]

[۱] استادیار، گروه صنایع چوب و کاغذ، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

مسئول مکاتبات:
shararim@uma.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۳/۰۹
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۵/۲۶

چکیده

در این مطالعه، الیاف موجود در پسماند تخته فیبر با دانسیته متوسط با استفاده از دیگ پخت بازیافت شدند. سپس از این الیاف برای تولید نانوکریستال سلولز استفاده شد. مورفولوژی، ساختار شیمیایی و بقایای رزین روی الیاف موردبررسی قرار گرفت. به‌منظور تولید نانوکریستال سلولز از روش هیدرولیز اسیدی استفاده شد. خصوصیات نانوکریستال‌سلولز ساخته‌شده از الیاف بکر و بازیافتی بررسی شد. نتایج نشان‌دهنده تغییر در مورفولوژی و ساختار شیمیایی الیاف بازیافتی بود. الیاف بازیافت‌شده با استفاده از دیگ پخت در مقایسه با الیاف بازیافت‌شده از روش مرسوم بازیافت (با استفاده از اتوکلاو) کیفیت بهتری داشتند. آنالیز عنصری نشان داد که بعد از بازیافت، بقایای رزین روی الیاف بجا می‌ماند. با توجه به مدت‌زمان کوتاه‌تر تیمار حرارتی و حذف مرحله جداسازی مکانیکی و کیفیت بهتر الیاف بازیافتی، می‌توان گفت استفاده از دیگ پخت روش کارآمدی برای بازیافت پسماند تخته فیبر با دانسیته متوسط محسوب می‌شود. بررسی خواص نانوکریستال‌سلولز نشان داد که هیچ تفاوتی بین نانو سلولزهای تولیدشده از الیاف بکر و بازیافتی وجود ندارد و الیاف بازیافتی می‌توانند به‌خوبی برای تولید نانو کریستال سلولز مورداستفاده قرار گیرند.

واژگان کلیدی: بازیافت، پسماند امدی‌اف، دیگ پخت، اتوکلاو، نانوکریستال سلولز.

مقدمه

تخته فیبر با دانسیته متوسط[1](امدی‌اف)، یکی از انواع فراورده‌های مرکب چوب است که از اتصال الیاف لیگنوسلولزی با استفاده از چسب و حرارت و فشار پرس داغ ساخته می‌شود. با توجه به تقاضای فزاینده، حجم تولید امدی‌اف در کل دنیا به‌طور مداوم افزایش‌یافته و از ۸ میلیون مترمکعب در سال ۱۹۹۵ به حدود ۱۰۰ میلیون مترمکعب در سال ۲۰۱۸ رسیده است. طبق آمار به‌دست‌آمده از فائو میزان تولید امدی‌اف، در ایران در سال ۲۰۱۰، ۱۸۵۰۰۰ مترمکعب بوده که در سال ۲۰۱۹، به ۲۱۰۰۰۰۰ مترمکعب افزایش‌یافته است [۱]. از طرفی تغییر سلیقه و رویه استفاده از مبلمان توسط مصرف کنندگان از حالت مصرفی به دکوراتیو، منجر به کوتاه شدن چرخه عمر مفید این محصولات شده است و عمر مفید مبلمان حدود ۱۴ سال براورد می‌شود [۲]. درنتیجه، هرساله، حجم زیادی از پسماند امدی‌اف به وجود می‌آید. علاوه بر این، پسماند ناشی از کناره بری تخته‌ها در کارخانه و پسماند ناشی از برش تخته‌ها و تبدیل آن به

[1] Medium Density Fiberboard

www.SID.ir

Archive of SID

محصول در کارگاه‌ها و کارخانه‌های تولیدکننده مبلمان نیز به این حجم افزوده می‌شوند. در سال ۲۰۱۶، حجم پسماند امدی‌اف، ۵۰ میلیون مترمکعب تخمین زده‌شده است [۲]. سالانه تقریباً ۲۵ درصد از امدی‌اف تولیدشده در اثر برش، اشتباهات ماشین‌کاری یا آسیب در حین حمل‌ونقل و انبارداری از دست می‌رود و با توجه به این تخمین‌ها ۹۹ درصد از امدی‌اف تولیدشده در مدت ۴۵ سال تبدیل به پسماند می‌شود. در حال حاضر، پسماند ام-دی‌اف در اکثر کشورها ازجمله ایران سوزانده می‌شود یا به‌عنوان زباله دفن می‌شود [۳ و ۴]. این در حالی است که سوزاندن و دفن این پسماند به‌عنوان زباله مشکلات جدی برای محیط‌زیست به همراه دارد و از طرفی حدود ۹۰ درصد از حجم این پسماند را الیاف چوبی تشکیل داده‌اند. الیافی که برای تولید آن از ذخایر جنگلی و منابع چوبی برداشت‌شده و برای فراوری آن هزینه و انرژی زیادی صرف شده است. با توجه به اهمیت روزافزون مقوله بازیافت در زمینه‌های مختلف، یکی از مهم‌ترین تلاش‌هایی که در تحقیقات اخیر صورت گرفته است، معرفی پسماند امدی‌اف به‌عنوان پسماند قابل بازیافت و ارزشمند است که استفاده مجدد از آن می‌تواند صرفه اقتصادی مطلوبی را به دنبال داشته باشد. استفاده مجدد از الیاف بازیافت شده از پسماند، در تولید امدی‌اف، متداول‌ترین روش بازیافت این پسماند است [۳]. باوجود حجم زیاد پسماند امدی‌اف همچنان کاربرد شناخته‌شده و تجاری برای آن در نظر-گرفته‌نشده و روش بازیافت مشخصی برای آن تعریف‌نشده است. دلیل اصلی این مشکل، تمرکز بر استفاده از این الیاف برای ساخت مجدد امدی‌اف در کارخانه‌های بدون شناخت کافی از ویژگی‌های الیاف بازیافتی است. نتایج تحقیقات پیشین نشان داده که بازیافت پسماند امدی‌اف، با استفاده از بخارزنی مستقیم در اتوکلاو، به دلیل مجموعه‌ای از عوامل مثل کاهش طول الیاف، تغییر در ترکیب شیمیایی و وجود بقایای رزین در سطح الیاف منجر به افت ویژگی‌های مکانیکی تخته‌های ساخته‌شده از الیاف بازیافتی در مقایسه با تخته‌های ساخته‌شده از الیاف بکر می‌شود [۲]. در تحقیقی که اخیراً انجام‌شده روش الکتریکی برای بازیافت پسماند امدی‌اف استفاده شد و نتایج نشان داد که شدت آسیب الیاف و تغییر در ساختار شیمیایی آن تا حدودی کمتر از بخارزنی مستقیم است اما استفاده از این روش به دلیل نیاز به تجهیزات خاص و پیچیده با دشواری‌هایی همراه است [۴]. با توجه به این‌که همچنان نیاز به دست‌یابی به روشی کارآمد برای بازیافت پسماند امدی‌اف وجود دارد، در این تحقیق از دیگ پخت برای بازیافت پسماند امدی‌اف استفاده شد. مزیت استفاده از دیگ پخت این است که بخارزنی به‌صورت غیرمستقیم انجام می‌شود، مدت‌زمان تیمار در مقایسه با روش‌های پیشین کوتاه‌تر است و هم‌چنین تیمار مکانیکی از طریق دفیبراتور حذف می‌شود. علاوه‌بر این، تجهیزات مورداستفاده در این روش، در کارخانه‌های تولیدکننده ام-دی‌اف، وجود دارد و تجهیزات جدید و پیچیده برای بازیافت موردنیاز نیست. راه‌حل دیگری که می‌تواند برای بازیافت پسماند امدی‌اف به کار رود، استفاده از این پسماند در کاربردهای دیگری به‌جز ساخت امدی‌اف است. در این راستا تلاش‌هایی توسط محققان برای یافتن کاربردهای مناسب برای پسماند امدی‌اف صورت گرفته است. ازجمله این کاربردها می‌توان به ساخت کامپوزیت چوب پلاستیک، تخته فیبر عایق، نانوکریستال سلولز، اتانول زیستی، سوخت زیستی و گاز زیستی اشاره کرد [۲]. استفاده از الیاف بازیافت شده از پسماند امدی‌اف در هر یک از این کاربردها در درجه اول مستلزم شناخت ویژگی‌های این الیاف است. بررسی ساختار شیمیایی و مورفولوژی الیاف بازیافت شده، علاوه بر امکان استفاده مؤثر از آن در ساخت تخته به تعریف کاربردهای جدید برای این منبع ارزشمند کمک می‌کند. مورفولوژی الیاف، ساختار شیمیایی الیاف، pH الیاف و وجود بقایای رزین روی الیاف ازجمله مهم‌ترین ویژگی‌های الیاف هستند. یکی از کاربردهایی که می‌توان برای الیاف بازیافت شده از پسماند امدی‌اف در نظر گرفت، تولید نانوکریستال سلولز از آن است. در بین ترکیبات شیمیایی الیاف، سلولز به‌دلیل ماهیت خاص خود در اثر بازیافت آسیب نمی‌بیند و مقدار سلولز الیاف بازیافتی مشابه با الیاف بکر است [۴، ۵]. نانوسلولز به‌طور وسیع از منابع چوبی و دیگر منابع گیاهی استخراج می-شود [۶، ۷]؛ بنابراین می‌توان انتظار داشت که الیاف بازیافت شده از پسماند امدی‌اف نیز به‌عنوان ماده اولیه برای تهیه نانوسلولز مورداستفاده قرار گیرند. نانوکریستال

www.SID.ir

Archive of SID

سلولز با توجه به ویژگی‌های منحصربه‌فرد خود شامل ویژگی‌های مکانیکی عالی، خصوصیات نوری بی‌نظیر، رفتار رئولوژیک ویژه، سازگاری زیستی مناسب و واکنش‌پذیری بالا و. کاربردهای گسترده‌ای دارد و در زمینه‌های مختلف موردتوجه قرارگرفته است. ازجمله کاربردهای نانو سلولز می‌توان به مهندسی ژنتیک، بسته‌بندی لوازم آرایشی، بهداشتی و مواد غذایی و صنایع تولید کامپوزیت اشاره‌کرده [۸]. امروزه، استفاده از نانوسلولز بیش‌ازپیش گسترش‌یافته و یافتن منبع مناسب ماده اولیه برای تولید آن بسیار حائز اهمیت است. پیش‌ازاین در تحقیقی از پسماند امدی‌اف آسیاب شده برای تولید نانو کریستال سلولز استفاده شد [۵]. در این مقاله با توجه به اهمیت ابعاد الیاف در تولید نانوسلولز کریستال، ابتدا الیاف موجود در پسماند امدی‌اف بازیافت شده و پس‌ازآن از الیاف بازیافت شده نانوسلولز ساخته شد. هدف از این تحقیق، دست‌یابی به روشی مناسب برای بازیافت پسماند امدی‌اف، بررسی ویژگی‌های الیاف بازیافتی و مقایسه آن با الیاف بکر به‌منظور یافتن کاربرد مناسب برای الیاف بازیافتی و هم‌چنین برررسی ویژگی‌های نانوکریستال سلولز تولیدشده از الیاف بازیافتی است.

به‌منظور انجام این تحقیق، الیاف بکر و پسماند حاصل از کناره بری کارخانه آرتاپلاست واقع در شهرستان نمین استان اردبیل مورداستفاده قرار گرفتند. ضایعات به قطعات کوچک‌تر خرد شدند. برای بازیافت پسماند از بخارزنی مستقیم با اتوکلاو و دیگ پخت استفاده شد. بازیافت با استفاده از دیگ پخت در دو سطح دمایی مختلف انجام شد تا تیمار بهینه مشخص شود. در جدول ۱ کد مربوط به تیمارها ارائه‌شده است.

جدول ۱- کد مربوط به تیمارهای حاصل از عوامل متغیر

کد تخته	مشخصات
VF	الیاف بکر
HR	الیاف بازیافت شده با اتوکلاو (بخارزنی مستقیم) در دمای ۱۰۵ درجه و مدت زمان ۴۵ دقیقه
DR1	الیاف بازیافت شده با دیگ پخت در دمای ۱۳۰ درجه و مدت زمان ۵ دقیقه
DR2	الیاف بازیافت شده با دیگ پخت در دمای ۱۵۰ درجه و مدت زمان ۵ دقیقه

بازیافت با استفاده از دیگ پخت

چیپس‌های چوبی بعد از غوطه‌وری در آب با نسبت ۴ به ۱ به همراه آب در داخل محفظه دیگ پخت ریخته شدند و در مدت‌زمان و دمای مشخص تیمار شدند. فشار در این فرایند ۴ بار در نظر گرفته شد. از دماها و زمان‌های مختلف استفاده شد و درنهایت مدت‌زمان ۵ دقیقه (بعد از رسیدن به دمای موردنظر) و دمای ۱۳۰ و ۱۵۰ درجه سانتی‌گراد برای بازیافت به‌وسیله دیگ بخار انتخاب شدند. لازم به ذکر است دمای ۱۵۰ درجه سانتی‌گراد به دمای مورداستفاده برای تبدیل چیپس به الیاف در کارخانه نزدیکتر است و به همین دلیل از این دما نیز استفاده شد تا شرایط بازیافت شبیه به شرایط تولید الیاف بکر در کارخانه باشد.

بازیافت با استفاده از بخارزن (اتوکلاو)

در تحقیقات پیشین از بخارزنی مستقیم با استفاده از اتوکلاو برای بازیافت پسماند امدی‌اف استفاده‌شده و این روش نسبت به سایر روش‌های بازیافت شناخته‌شده و مرسوم‌تر است. قطعات خردشده‌ی ضایعات، توسط دستگاه بخارزن (اتوکلاو) موجود در آزمایشگاه خمیرکاغذ گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ دانشگاه محقق اردبیلی در دمای ۱۰۵ درجه سانتی گراد و به مدت ۴۵ دقیقه بخارزنی شده و پس‌ازآن الیاف به کمک دستگاه دفیبراتور موجود در این آزمایشگاه جداسازی شدند.

بررسی ویژگی‌های الیاف

به‌منظور مطالعه میکروسکوپی طول و قطر الیاف از روش فرانکلین استفاده شد و پس‌ازآن اسلایدهایی از نمونه‌ها تهیه شد. اندازه‌گیری طول، قطر و ضریب کشیدگی الیاف از طریق تصویربرداری از ۲۰۰ نمونه از هر گروه از الیاف انجام شد. تصاویر به‌دست‌آمده از میکروسکوپ نوری موتیک توسط نرم‌افزار Image j موردبررسی قرار گرفتند و طول و قطر الیاف اندازه‌گیری شدند. برای اندازه‌گیری pH الیاف، ۲ گرم خاک‌اره از الیاف

www.SID.ir

Archive of SID

تهیه شد و با ۴۰ میلی‌لیتر آب مقطر ترکیب شد. مواد حاصل در داخل حمام آب گرم با دمای ۹۵ درجه سانتی-گراد به مدت ۱۵ دقیقه استخراج شدند. مواد از صافی عبور داده شدند و pH مایع حاصل از استخراج پس از سرد شدن اندازه‌گیری شد [۹]. ترکیبات شیمیایی اندازه‌گیری شده در مورد الیاف بکر و بازیافتی و روش‌های استاندارد مورداستفاده برای اندازه‌گیری این ترکیبات به شرح زیر بوده است: تهیه پودر: تهیه پودر طبق استاندارد شماره om۸۵ ـ T ۲۶۷ آیین‌نامه TAPPI انجام گرفت. تعیین مواد استخراجی، مقدار سلولز، لیگنین و هولوسلولز به ترتیب طبق استانداردهای pm۹۹ ـ T ۲۸۰، om۸۸ ـ T ۲۶۴، om۰۲ ـ T۲۲۲ و T۲۲۲-cm۸۸ آیین‌نامه TAPPI انجام گرفت.

آنالیز عنصری CHNS و طیف‌سنجی با اشعه مادون‌قرمز FTIR

به‌منظور بررسی وجود بقایای رزین روی سطح الیاف بکر و الیاف بازیافت شده از روش آنالیز عنصری استفاده شد. به این منظور مقدار نیتروژن الیاف بکر، بازیافتی و پسماند امدی‌اف اندازه‌گیری شد. آنالیز عنصری نمونه‌ها با استفاده از دستگاه Elemnter مدل Vario EL III انجام شد. به این منظور از گاز خالص هلیم به‌عنوان گاز حامل و گاز اکسیژن به‌عنوان اکسیدکننده استفاده شد. پاسخ نهایی بر اساس درصد نیتروژن موجود به دست آمد. برای بررسی تغییر ساختار شیمیایی و گروه‌های عاملی الیاف و نانوسلولز تولیدشده از آزمون طیف‌سنجی با مادون‌قرمز در محدوده طول‌موج ۴۰۰۰1/cm- ۴۰۰ استفاده شد. به این منظور از دستگاه طیف‌سنجی تبدیل فوریه مادون‌قرمز مدل Spectrum RX I ساخت شرکت PerkinElmer استفاده‌شد. تهیه نمونه‌ها به روش قرص برمید پتاسیم انجام شد.

تولید نانوکریستال سلولز از الیاف بازیافتی و بکر

پس از بررسی ویژگی‌های مختلف الیاف، تیمار بهینه برای بازیافت الیاف از پسماند امدی‌اف انتخاب شد. برای تولید نانوکریستال سلولز از الیاف بازیافت شده با دیگ پخت در دمای ۱۳۰ درجه و الیاف بکر استفاده شد. به‌منظور اطمینان از عدم وجود ناخالصی و بالا بردن درجه خلوص سلولز، ابتدا الیاف فاقد مواد استخراجی به مدت ۱۲ ساعت در دمای محیط تحت تیمار محلول NaOH ۲ درصد وزنی قرار گرفتند. سپس الیاف از طریق صاف کردن از محلول جدا شدند و با آب مقطر مواد شستشو قرار گرفتند تا جایی که NaOH به‌طور کامل شسته شود. پس از شستشو و اطمینان از عدم وجود NaOH از طریق اندازه‌گیری pH الیاف آبگیری شده و برای رنگبری آماده شدند. الیاف به‌دست‌آمده مجدداً با آب ترکیب شدند (۴۰ میلی‌لیتر آب به ازای هر گرم الیاف) سپس با استفاده از کلریت سدیم (۲ گرم به ازای هر گرم الیاف) و اسید استیک (۱/۲ میلی‌لیتر به ازای هر گرم الیاف) در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد رنگبری شدند. رنگبری به مدت ۶ ساعت انجام شد. الیاف رنگبری شده به‌وسیله آب شستشو داده شدند تا جایی که pH به ۷ برسد. پس‌ازآن ظرف حاوی الیاف در حمام یخ قرار داده شد و اسید سولفوریک قطره‌قطره به الیاف افزوده شد، در همین حین الیاف تحت چرخش توسط همزن مغناطیسی قرار داشتند. واکنش درنهایت با افزودن یخ متوقف شد. پس از تکرار آزمایش در شرایط مختلف و اندازه‌گیری ابعاد نانو ذرات با استفاده از روش DLS، درنهایت، استفاده از ۱۳ میلی‌لیتر اسید ۶۴٪ و دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد و زمان ۳۰ دقیقه به‌عنوان شرایط بهینه برای هیدرولیز اسیدی انتخاب شد. جداسازی محلول اسیدی از سلولز در دو مرحله سانتریفوژ و دیالیز صورت گرفت. سانتریفوژ با سرعت rpm ۳۵۰۰ در زمان ۱۰ دقیقه انجام شد. عمل سانتریفوژ و شستشو ۵ مرتبه تکرار شد. سپس، برای اعمال نیروی برشی به‌منظور جداسازی ذرات نانو از هموژنایزر اولتراسونیک به مدت ۱۵ دقیقه در بازه ۵ دقیقه‌ای استفاده شد. در این مقاله، نانوکریستال سلولز تولیدشده از الیاف بکر با کد NC-VF و نانوکریستال‌سلولز تولیدشده از الیاف بازیافتی با کد NC-RF نشان داده‌شده می‌شود.

بررسی ابعاد و کریستالیته نانوکریستال سلولز تولیدشده

به‌منظور تعیین توزیع اندازه ذرات از تفرق نور پویا DLS که با اندازه‌گیری حرکت براونی ذرات یا

www.SID.ir

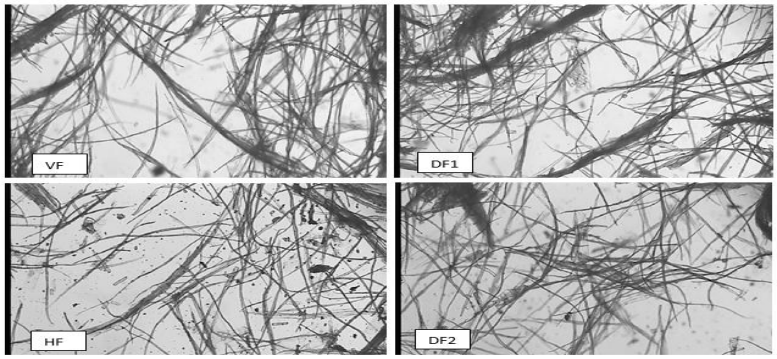
Archive of SID

به‌عبارت‌دیگر میزان جابجایی ذرات درون ماده پراکنده‌سازی به‌اندازه آن‌ها می‌برد، استفاده شد. این آزمون با استفاده از دستگاه تفرق نور پویا مدل HORIBA nanoparticle analyzer انجام شد. برای بررسی درصد بلورینگی، نمونه‌ها باید خشک شوند که برای این منظور از فریز درایر (خشک‌کن انجمادی) استفاده شد. نمونه‌ها به مدت ۶۰ ساعت در دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده‌شده و سپس با استفاده از خلأ، آب موجود در نمونه‌ها خشک شد. به‌منظور تعیین درصد بلورینگی از آزمون پراش اشعه ایکس استفاده شد. به این منظور از دستگاه XRD کمپانی GNR مدل MPD3000 استفاده شد. برای تهیه طیف پراش اشعه ایکس، نمونه‌ها در جهت عمود با تابش اشعه X قرار گرفتند. از دامنهٔ زاویهٔ پراش ۵ تا ۴۰ درجه استفاده شد. ولتاژ به مقدار ۳۰ کیلوولت و شدت‌جریان در حد ۳۰ میلی‌آمپر تنظیم شد.

نتایج و بحث

ساختار مورفولوژی و شیمیایی الیاف

تصاویر به‌دست‌آمده از الیاف توسط میکروسکوپ نوری در شکل ۱ ارائه‌شده است. این تصاویر با بزرگنمایی ۴۰ برابر تهیه‌شده‌اند.



شکل ۱: تصاویر میکروسکوپی الیاف بکر و بازیافتی (VF: الیاف بکر، DF1: الیاف بازیافت شده با استفاده از دیگ پخت در دمای ۱۳۰ درجه، DF2: الیاف بازیافت شده با دیگ پخت در دمای ۱۵۰ درجه، HF: الیاف بازیافت شده با اتوکلاو)

همان‌طور که در تصاویر فوق قابل‌مشاهده است، الیاف بازیافتی در مقایسه با الیاف بکر دچار آسیب شده‌اند و در مورد روش بخارزنی مستقیم (اتوکلاو) در تصاویر نیز واضح است که مقدار بیشتری از الیاف ریز (نرمه) وجود دارد که نشان‌دهنده تخریب بیشتر الیاف در این روش بازیافت می‌باشد. در روش بخارزنی مستقیم نرمی ناکافی ساختار الیاف به دلیل پخت ناقص، باعث افزایش شکستگی در الیاف می‌شود و مقدار زیادی از الیاف ریز (نرمه) به وجود می آیند [۳]. در جدول ۲ میانگین مقادیر اندازه‌گیری‌شده طول و قطر الیاف ارائه‌شده است که نشان‌دهنده کاهش طول و قطر الیاف بازیافتی نسبت به الیاف بکر است.

جدول ۲: میانگین طول و قطر الیاف بکر و بازیافتی

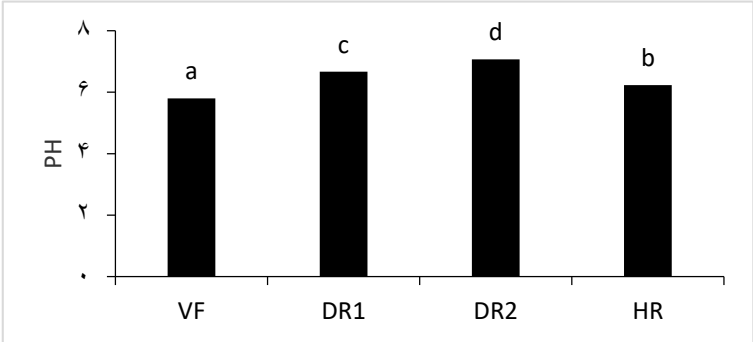
نوع الیاف	طول (میلی‌متر)	قطر (میکرون)
VF	۴۶/۵	۳۰
DR1	۲۲/۹	۲۵
DR2	۱۸/۸	۲۴
HR	۱۰/۷	۲۴

نتایج نشان می‌دهد که طول و قطر الیاف بازیافتی نسبت به الیاف بکر کاهش‌یافته است که نشان‌دهنده آسیب و خرد شدن الیاف در حین فرایند ساخت اولیه تخته‌ها و پس‌ازآن بازیافت الیاف از پسماند امدی‌اف است. فرایند بازیافت منجر به کاهش در طول الیاف می‌شود درحالی‌که قطر الیاف تغییر چندانی نکرده است [۲]. الیاف

www.SID.ir

Archive of SID

پیش‌ازاین در فرایند تولید ام‌دی‌اف جداشده‌اند و رزین آن‌ها را در کنار هم نگه‌داشته که این اتصالات رزین با کمترین شدت بازیافت از بین می‌روند [۳]. کاهش طول الیاف بازیافت شده به روش خمیر سازی در ۱۵۰ درجه بیشتر از ۱۳۰ درجه است که علت آن افزایش شدت حرارت‌دهی و آسیب بیشتر به الیاف است. اثر شدت تیمار بخاردهی بر ترکیب شیمیایی و مورفولوژی الیاف کاملاً ثابت‌شده است [۳]. درواقع تغییر در مورفولوژی الیاف بازیافت شده اجتناب‌ناپذیر است؛ اما همان‌طور که از نتایج پیداست الیاف بازیافت شده به روش خمیرسازی وضعیت بهتری از الیاف بازیافت شده به روش بخارزنی مستقیم دارند و علت آن حذف مرحله تیمار مکانیکی و مدت‌زمان کوتاه‌تر حرارت دهی در فرایند بازیافت می‌باشد. در بازیافت به روش بخارزنی مستقیم (اتوکلاو) به دلیل شرایط ناقص حرارت دهی در بخار و جداسازی مکانیکی الیاف به‌شدت آسیب می‌بینند و طول آن‌ها کاهش می‌یابد [۱۰]. میانگین مقدار pH الیاف بکر و بازیافتی در شکل ۲ نشان داده‌شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود pH الیاف بعد از بازیافت افزایش می‌یابد. کمترین تغییر pH در الیاف بازیافت شده با استفاده از دیگ پخت در دمای ۱۳۰ درجه مشاهده می‌شود که علت آن شرایط ملایم‌تر حرارت دهی الیاف در حین فرایند بازیافت بوده است.



شکل ۲: مقدار pH الیاف بکر و بازیافتی

مقادیر بالاتر pH در الیاف بازیافتی نشان‌دهنده‌ی تخریب رزین اوره فرمالدهید در دماهای بالاست یا می‌تواند به دلیل وجود بقایای رزین اوره فرمالدهید باشد و هم‌چنین علت آن می‌تواند کاهش مواد استخراجی باشد. علاوه بر این، می‌تواند به دلیل آزاد شدن آمونیاک موجود در رزین اوره فرمالدهید و یا دیگر محصولات قلیایی حاصل از تخریب تخته‌های بازیافت شده باشد [۱۱، ۱۲]. در حین فرایند بازیافت ضایعات ام‌دی‌اف، دو واکنش هیدرولیز اتفاق می‌افتد، شامل هیدرولیز ترکیبات تشکیل دهنده‌ی چوب که منجر به کاهش pH در اثر آزاد شدن اسید می‌شود و هیدرولیز رزین اوره فرمالدهید که pH را افزایش خواهد داد. رزین اوره فرمالدهید حاوی اوره است که از آمونیاک و دی اکسیدکربن تشکیل‌شده است. آمونیاک در محیط آبی تبدیل به هیدروکسید آمونیوم (NH_4OH) می‌شود که یک ماده‌ی قلیایی قوی است؛ بنابراین، درنهایت نتیجه‌ی تعادل بین این دو فرایند هیدرولیز، افزایش pH الیاف بازیافتی می‌باشد [۱۳] در کاربرد الیاف بازیافتی باید به قلیایی بودن آن‌ها توجه کرد. مقدار ترکیبات شیمیایی الیاف بکر و بازیافتی شامل لیگنین، سلولز، همی‌سلولزها و مواد استخراجی در جدول ۳ ارائه‌شده است. ترکیبات شیمیایی از عوامل اصلی مؤثر بر ویژگی‌های مکانیکی الیاف چوبی هستند و تغییرات آن‌ها روی کیفیت تخته‌های ساخته‌شده اثرگذار است [۴].

جدول ۳: ترکیب شیمیایی الیاف بکر و بازیافتی

نوع الیاف	لیگنین (٪)	سلولز (٪)	همی‌سلولزها (٪)	مواد استخراجی (٪)
VF	۲۹	۴۷/۲	۲۱/۸	۱/۸۷
DR1	۲۸/۳	۴۷/۳	۱۶/۷	۱/۶۶
DR2	۲۸/۷	۴۶/۹	۱۴/۳	۱/۵۴
HR	۲۰	۴۷/۵	۱۵/۴	۱/۴

www.SID.ir

Archive of SID

نتایج به‌دست‌آمده در مورد ترکیب شیمیایی الیاف نشان می‌دهد که مقدار مواد استخراجی و همی‌سلولزها در الیاف بازیافتی به شکل مشخصی کمتر از الیاف بکر می‌باشد و لیگنین نیز تا حدودی دستخوش تغییر شده و در حین بازیافت مخصوصاً در روش بخارزنی مستقیم کاهش‌یافته است؛ اما مقدار سلولز تغییر مشخصی نداشته است. تفاوت در ماهیت ساختار و طبیعت شیمیایی این سه ترکیب باعث تفاوت در رفتار حرارتی آن‌ها می‌شود [۱۴، ۱۵]. علت تجزیه‌ی سریع‌تر همی‌سلولزها و لیگنین نسبت به سلولز ساختار آمورف (بی‌شکل) این ترکیبات می‌باشد [۱۶]. همی‌سلولزها به دلیل وجود گروه‌های استیل کمترین پایداری حرارتی را بین ترکیبات شیمیایی چوب دارند. لیگنین در دامنه‌ی گسترده‌ای از دما که از دماهای خیلی پایین (حدود ۱۲۰ درجه سانتی‌گراد) شروع می‌شود تا حدودی تجزیه می‌شود [۱۷]. در الیاف بازیافتی قرار گرفتن الیاف تشکیل‌دهنده‌ی تخته در معرض حرارت بالای پرس و محیط اسیدی و هم‌چنین پس‌ازآن، تیمار حرارتی مورداستفاده برای بازیافت منجر به تخریب همی سلولز می‌شود. تخریب سلولز در دمای بالای ۲۱۰ تا ۲۲۰ درجه سانتی‌گراد رخ می‌دهد [۱۴]. به همین دلیل همان‌طور که در نتایج مشاهده می‌شود، پروسه‌ی بازیافت که در این تحقیق در دمای ۱۰۰ تا ۱۵۰ درجه سانتی‌گراد انجام‌شده تأثیری بر مقدار سلولز نداشته‌است و در زمان پرس نیز با دمای ۱۸۰ درجه‌ی اعمال‌شده، تغییری در سلولز ایجاد نمی‌شود. با توجه به نتایج مربوط به مورفولوژی الیاف و ترکیب شیمیایی، بازیافت با دیگ پخت و در دمای ۱۳۰ درجه به‌عنوان تیمار مناسب برای بازیافت پسماند امدی‌اف انتخاب شد.

بررسی وجود بقایای رزین اوره فرمالدهید روی الیاف با استفاده از روش آنالیز عنصری

نتایج مربوط به آنالیز عنصری امدی‌اف، الیاف بکر و الیاف بازیافت‌شده به روش‌های مختلف در جدول ۴ ارائه‌شده است. نتایج نشان می‌دهد که مقدار نیتروژن در ام دی‌اف بیشتر از الیاف بازیافتی است که مشخص می‌کند، رزین در اثر هیدرولیز از سطح الیاف تا حدودی حذف‌شده است. میانگین مقدار نیتروژن در الیاف بازیافتی ۱ تا ۲٪ بوده که با آنالیز به روش کجلدال نیز مشابه همین نتایج به‌دست‌آمده است [۱۸، ۱۹]. رزین اوره فرمالدهید از اتصالات آمیدی تشکیل‌شده که شامل پیوندهای -C=O-N H است بنابراین اندازه‌گیری مقدار N در الیاف بازیافتی می‌تواند نشان دهد که چقدر رزین اوره فرمالدهید از روی الیاف حذف‌شده است [۱۹]. بر اساس جدول ۴، بعد از بازیافت به روش بخارزنی مستقیم (اتوکلاو)، ٪۵۵ از نیتروژن حذف‌شده و پس از بازیافت با دیگ پخت در دمای ۱۳۰ و ۱۵۰ درجه به ترتیب، ۳۷/۱۱٪و ۵۸٪ از نیتروژن حذف‌شده است. بسته به مواد شیمیایی به‌کاررفته برای بازیافت، دما و مدت‌زمان حرارت دهی مقدار نیتروژن بیشتری از الیاف خارج می‌شود. هرچقدر دما و شرایط اسیدی بیشتر باشد، مقدار کمتری از رزین روی سطح الیاف باقی می‌ماند. نتایج تحقیقات دیگر که از روش کجلدال برای اندازه‌گیری نیتروژن استفاده‌شده بود، مقدار حذف نیتروژن ۶۰٪ گزارش‌شده بود[۱۸، ۱۹].

طیف‌سنجی با اشعه مادون‌قرمز

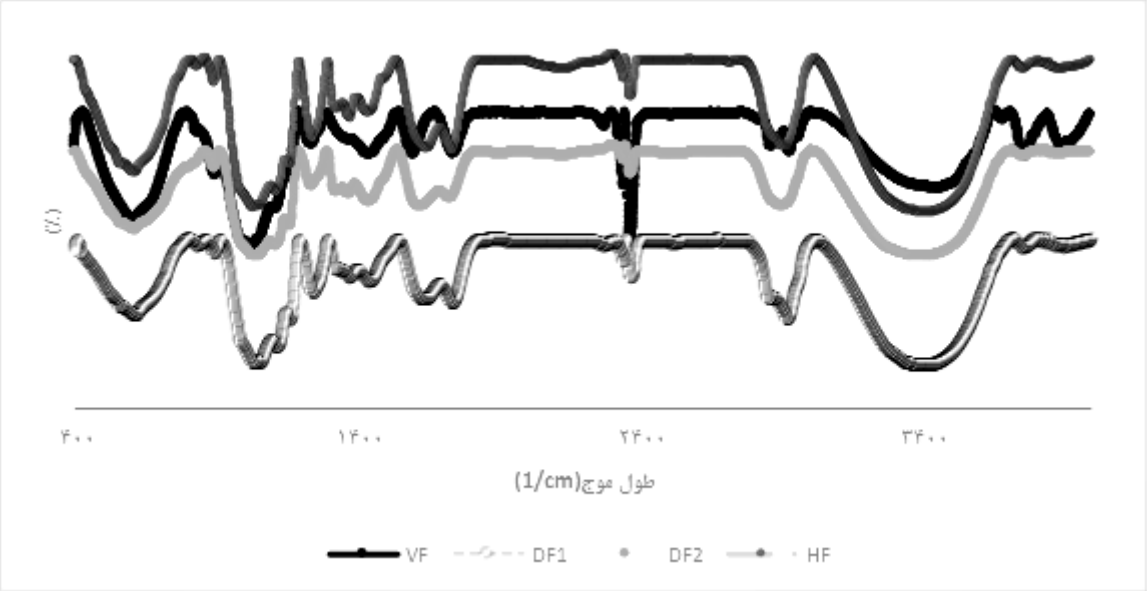
نمودارهای مربوط به FT-IR الیاف بکر و بازیافتی در شکل ۳ و FT-IR نانو کریستال‌های سلولزی تهیه‌شده از الیاف بکر و بازیافتی در شکل ۴ نشان داده‌شده است.

جدول۴: آنالیز عنصری الیاف بکر، بازیافتی و امدی‌اف

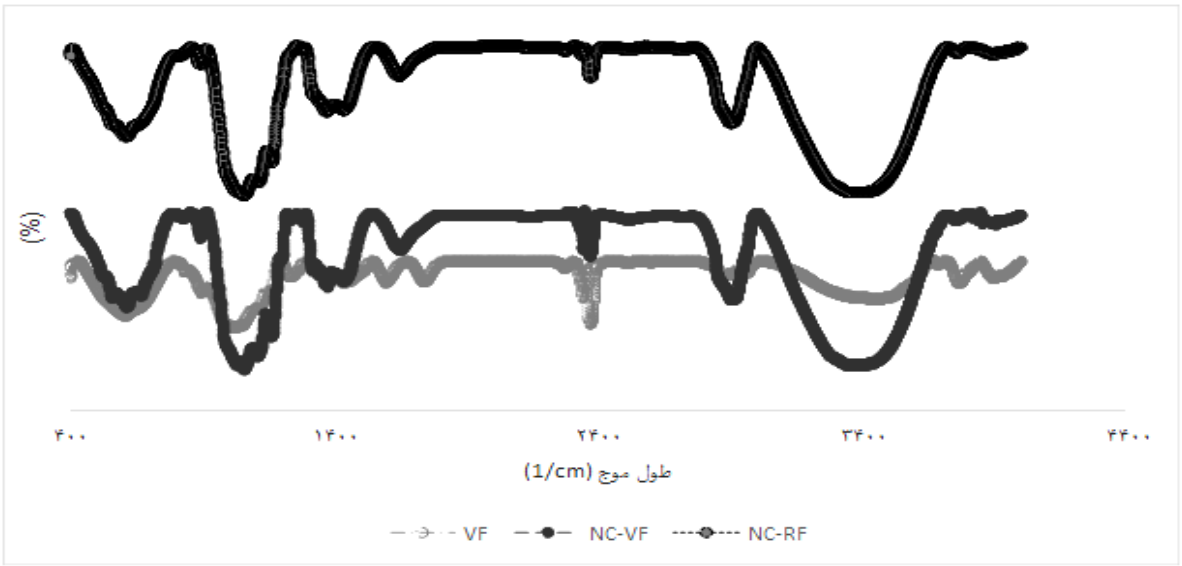
نوع الیاف	نیتروژن (٪)	C/N
VF	۱/۰۲۷	۴۴/۴۴
DR1	۱/۸۹۱	۲۵/۸۱
DR2	۱/۲۵۷	۳۶/۵۴
HR	۱/۳۴۵	۳۴/۴۶
MDF	۳/۰۰۷	۱۴/۴۷

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۳: طیف FT-IR الیاف بکر و بازیافتی (VF: الیاف بکر، DF1: الیاف بازیافت شده با دیگ پخت در دمای ۱۳۰ درجه، DF2: الیاف بازیافت شده با دیگ پخت در دمای ۱۵۰ درجه، HF: الیاف بازیافت شده با اتوکلاو)



شکل ۴: طیف FT-IR نانوکریستال سلولز تهیه‌شده از الیاف بکر و بازیافتی (VF: الیاف بکر، NC-VF: نانوسلولز تهیه‌شده از الیاف بکر، NC-RF: نانوسلولز تهیه‌شده از الیاف بازیافتی)

در شکل ۳، پیک مشاهده‌شده در $1735\ cm^{-1}$ مربوط به گروه‌های استیل و اورونیک استر همی‌سلولزها است [۲۰]. این پیک که در الیاف بازیافتی مشاهده می‌شود و در الیاف بکر وجود ندارد، نشان‌دهنده‌ی وجود گروه کربونیل استری ناشی از فرایند استری شدن است [۱۶]. الیاف بکر الیافی هستند که یک بار تحت تیمار حرارتی در شرایط مرطوب قرارگرفته‌اند (در زمان تبدیل چوب به الیاف) و درواقع در آن‌ها استیل‌زدایی رخ‌داده است و پیک کربونیل در آن‌ها به‌شدت کاهش‌یافته یا حذف‌شده است؛ اما در مورد الیاف بازیافتی این الیاف پس از تبدیل چوب به الیاف در زمان پرس، تحت حرارت بالا و در شرایط غیره مرطوب و اسیدی قرارگرفته‌اند (دمای ۱۸۰ درجه) و این

www.SID.ir

Archive of SID

منجر به فرایند استری شدن تحت شرایط اسیدی شده است و به همین دلیل پیک کربونیل ظاهرشده است [۲۰]. پیک مشاهده‌شده در cm^{-1} ۱۶۴۰ در الیاف بازیافتی، مربوط به آب جذب‌شده است. چسب‌های مورداستفاده در صنایع پانل‌های چوبی، معمولاً اوره فرمالدهید یا فنول فرمالدهید هستند که باعث افزایش جذب در منطقه cm^{-1} ۱۵۵۰ تا ۱۶۶۰ می‌شود. پیک cm^{-1} ۱۶۶۰ مربوط به کشش کربونیل در آمید اولیه است که وجود ترکیبات اوره را تائید می‌کند [۵]. جابجایی جزئی پیک cm^{-1} ۳۴۰۰ در الیاف بازیافتی که مربوط به گروه‌های هیدروکسیل است به cm^{-1} ۳۳۷۵ می‌تواند نشان‌دهنده‌ی وجود رزین باقی‌مانده روی سطح الیاف باشد چراکه در طیف مربوط به رزین اوره فرمالدهید این پیک نشان‌دهنده‌ی ارتعاش N-H می‌باشد [۲۰]. در کل می‌توان نتیجه گرفت تغییرات ساختار شیمیایی الیاف مربوط به پروسه‌ی چسب‌زنی و ساخت تخته از آن‌هاست و درواقع 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 قابل‌مشاهده است. در شکل ۴، در مورد نانوکریستال‌های سلولز تهیه‌شده از الیاف بکر و بازیافتی، پیک‌های ۳۷۰۰ تا cm^{-1} ۳۰۰۰ نشان‌دهنده ارتعاش کششی گروه‌های هیدروکسیل کربوهیدرات‌ها در نانو سلولز است [۵]. جذب در cm^{-1} ۱۶۳۶ نشان‌دهنده کشش در C-C و ترکیب با آب جذب‌شده است. پیک cm^{-1} ۱۳۷۲ مربوط به ارتعاش خمشی پیوندهای C-H است. پیک cm^{-1} ۸۹۵ مربوط به کشش پیوندهای گلیکوزیدی است [۵، ۷]. پیک cm^{-1} ۱۴۴۰ که در الیاف بکر دیده می‌شود در طیف نانوسلولز ضعیف شده و جابجا شده و پیک‌هایی در cm^{-1} ۱۲۰۰ شکل‌گرفته‌اند که نشان‌دهنده تغییر ساختاری در شکل سلولز است. همه این ارتعاشات نشان می‌دهد که در فرایند تولید نانو سلولز همی سلولزها و لیگنین حذف می‌شوند [۶]. هم‌چنین از مقایسه طیف FT-IR نانوسلولز تولیدشده از الیاف بکر و بازیافتی می‌توان دریافت که ساختار این دو یکسان است که علت آن عدم‌تغییر در ساختار سلولز در الیاف بازیافتی است.

ابعاد نانوکریستال سلولز

میانگین ابعاد نانوسلولز تولیدشده از الیاف بکر و بازیافتی اندازه‌گیری‌شده با روش DLS در جدول ۵ ارائه‌شده است. میانگین طول الیاف در CNC حاصل از الیاف بکر ۱۳۸/۸ نانومتر و میانگین طول الیاف در CNC حاصل از الیاف بازیافتی ۱۱۶/۱ نانومتر می‌باشد. دامنه طول الیاف نانوکریستال سلولز تولیدشده از الیاف چوبی بین ۱۰۰ تا ۲۰۰ نانومتر است [۵، ۶].

جدول ۵: میانگین ابعاد نانوکریستال تولیدشده از الیاف بکر و بازیافتی

تیمار	میانگین طول ذرات (nm)	SD	میانگین قطر ذرات (nm)	SD
NC-VF	۱۳۸/۸	۷/۸	۲/۶	۰/۲
NC-RF	۱۱۶/۱	۶/۷	۲/۷	۰/۲

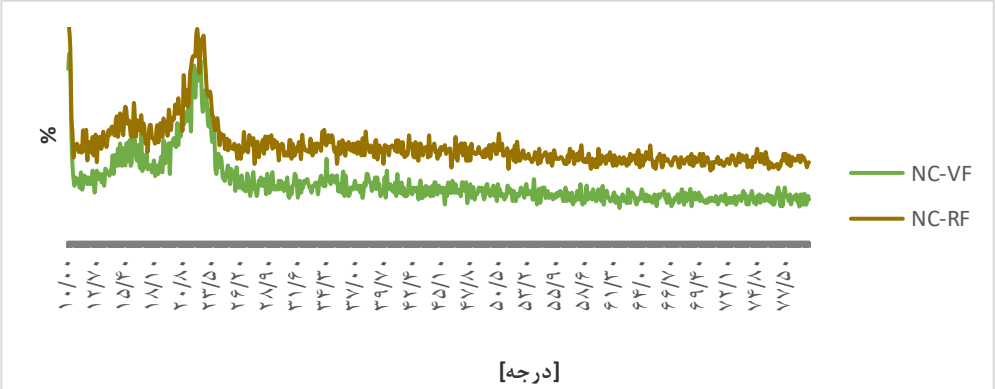
نتایج نشان می‌دهد که نانوسلولز تولیدشده از الیاف بازیافتی وضعیتی مشابه با نانوسلولز تولیدشده از الیاف بکر دارند. در مطالعه‌ای که در سال ۲۰۱۷ انجام شد نیز میانگین طول CNC حاصل از الیاف بکر ۱۵۱/۸ نانومتر و میانگین طول CNC حاصل از پسماند امدی‌اف، ۱۶۴/۷ نانومتر گزارش شد [۵]. میانگین قطر ذرات نانوسلولز تولیدشده از الیاف بکر و بازیافتی، همان‌طور که در جدول ۵ نشان داده شده‌است حدود ۲ نانومتر گزارش شده‌است که مشابه با نتایج تحقیقات مشابه است [۷]. در ساختار سلولز الیاف بازیافتی نسبت به الیاف بکر تفاوتی وجود ندارد درنتیجه نانوکریستال سلولز تولیدشده از الیاف بکر و بازیافتی ابعادی مشابه هم دارند.

بررسی درجه بلورینگی نانوسلولزهای تولیدشده از الیاف بکر و بازیافتی با استفاده از XRD

در شکل ۵ طیف‌های XRD نانوسلولزهای تولیدشده از الیاف بکر و بازیافتی نشان داده‌شده است. بر اساس فرمول سگال، بلورینگی نانوکریستال سلولز تولیدشده از الیاف بکر ۷۲٪/۹۱ و بلورینگی نانوکریستال سلولز تولیدشده از الیاف بازیافتی، ۷۳/۵۲٪ می‌باشد.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۵: XRD نانوکریستال سلولز تولید شده از الیاف بکر و بازیافتی

Couret و همکاران (۲۰۱۷) درجه بلورینگی ۶۱، ۶۸، ۶۴ و ۷۱٪ را برای نانوسلولز تولیدشده از الیاف بکر، الیاف چسب زنی شده، امدی‌اف و ضایعات امدی‌اف به دست آوردند. در همه الگوهای XRD پیک‌ها در ۱۵، ۱۷،۲۳ و ۳۴ درجه نشان‌دهنده ساختار سلولز نوع ۱ هستند. وقتی الیاف چوبی به روش شیمیایی تیمار می‌شوند پیک ۲۲/۶ درجه نازک‌تر و تیزتر می‌شود و هم‌چنین حالت دوبله در سایر پیک‌ها نشان‌دهنده افزایش بلورینگی است [۵]. در موقعیت پیک‌ها بین الیاف بکر و بازیافتی هیچ تغییری رخ نداده که نشان‌دهنده این است که ساختار سلولز حین تیمارهای شیمیایی بی‌تغییر می‌ماند. با توجه به بلورینگی نانوکریستال سلولز تولیدشده از الیاف بکر و بازیافتی می‌توان گفت، ساختار این نانوکریستال‌ها باهم تفاوتی ندارد و این نشان می‌دهد که الیاف بازیافتی پتانسیل خوبی برای استفاده به‌عنوان ماده اولیه برای تولید نانوکریستال سلولز دارند.

نتیجه‌گیری

بررسی ویژگی‌های شیمیایی و مورفولوژی الیاف بازیافتی به‌وسیله دیگ پخت، نشان داد که وضعیت این الیاف در مقایسه با روش بازیافت مرسوم که در آن از بخارزنی مستقیم و پس‌ازآن دفیبراسیون برای بازیافت الیاف استفاده می‌شد، بهتر است. علت کیفیت بهتر الیاف بازیافتی، دما و مدت‌زمان کوتاه‌تر تیمار حرارتی بازیافت و حذف مرحله تیمار مکانیکی (دفیبراسیون) است. شرایط مناسب برای بازیافت با دیگ پخت شامل دمای ۱۳۰ درجه سانتی‌گراد و مدت‌زمان ۵ دقیقه است که در مقایسه با روش‌های مشابه مدت‌زمان آن بسیار کوتاه بوده و از سرعت عمل بالایی برای جداسازی الیاف برخوردار است. البته باید در نظر داشت درهرصورت الیاف بازیافتی ساختار متفاوتی با الیاف بکر دارند و در استفاده مجدد از این الیاف در هر کاربردی باید این واقعیت را در نظر داشت. علاوه بر تفاوت در ویژگی‌های شیمیایی و مورفولوژی الیاف بازیافتی، عامل دیگری نیز در این الیاف متفاوت با الیاف بکر است و آن وجود بقایای رزین است. بخش زیادی از رزین اوره فرمالدهید در فرایند بازیافت از سطح الیاف حذف می‌شود و هراندازه شدت حرارت دهی و هیدرولیز رزین بیشتر باشد، بقایای رزین روی الیاف کمتر خواهد بود؛ اما درهرصورت بقایای رزین روی سطح الیاف بازیافتی وجود دارند و این خود می‌تواند ویژگی‌های این الیاف را تحت تأثیر قرار دهد. با توجه به دشواری‌های استفاده از الیاف بازیافتی برای ساخت مجدد امدی‌اف می‌توان از این الیاف در کاربردهای دیگری استفاده کرد تا محدودیت‌های مربوط به ساختار متفاوت این الیاف با الیاف بکر مرتفع شود. یکی از کاربردهای مناسب برای الیاف بازیافتی استفاده از آن در تهیه نانوسلولز است. نانو کریستال سلولز به‌دست‌آمده از الیاف بازیافتی ساختار و کریستالیته مشابه با الیاف بکر دارند و الیاف بازیافت شده از پسماند امدی‌اف می‌توانند به‌خوبی برای تولید نانو کریستال سلولز مورداستفاده قرار گیرند.

سپاسگزاری

نویسندگان مقاله بر خود لازم می‌دانند مراتب سپاسگزاری خود را از حمایت سازمان حفاظت محیط‌زیست و مخصوصاً اداره کل حفاظت محیط‌زیست استان اردبیل در راستای انجام این تحقیق، اعلام دارند.

www.SID.ir

Archive of SID

منابع

[1] FAO, FAO STAT: Forestry production and trade. http://www.fao.org/faost at/en/#data/FO. Accessed 24 March 2020

[2] Hagel's., Joy, J., Clcala, G., Saake, B., 2021. Recycling of waste MDF by steam refining evaluation of fiber and paper strength properties. Waste and Biomass Valorization, doi.org/10.1007/s12049-021-01391-4

[3] Hagel, S., Saake, B., 2020. Fractionation of waste MDF by steam refining, Molecules, (25) 2165, doi: 10.3390/molecules25092165.

[4] Moezzipour, B., Abdolkhani, A., Doost-hoseini, K., Ahmad Ramazani, S.A., Tarmian, A., 2018. Practical properties and formaldehydeemission of medium density fiberboards (MDFs) recycled by electrical method. Eur. J. Wood Wood Prod, 76, 1287–1294, https: //doi.org/10.1007/s0010 7-018-1291-2

[5] Couret, L., Irle, M., Bellonche, C. H., Cathala, B., 2017. Extraction and characterization nanocrystals from post-consumer wood fiberboard waste, Cellulose: 1352-7.

[6] Araki, J., Wada, M., Kuga, S., Okuna, T., 1998. Flow properties of microcrystalline cellulose suspension prepared by acid treatment of native cellulose, Collids Surf Physicochem Eng Asp, 142: 75-82.

[7] Costa, L., Assis, D., Gomes, G., Silva, J., Fonesca, A., Druzian, J., 2015. Extraction and characterization of nanocellulose from corn stover. Mater Today Proc, 2: 287-294.

[8] Jiang, Q., Xing, X., Jing, Y., Han, Y., 2020. Preparation of cellulose nanocrystals based on waste paper via different systems, Biological macromolecules, 2 (110): 1-12.

[9] Geffert, A., Geffertova, J., Dudiak, M., 2019. Direct method of measuring the pH value of wood, Forests, 10, 852: 1-9.doi:10.3390/f10100852.

[10] Lykidis, C.H., Grigoriou, A., 2008. Hydrothermal recycling of waste and performance of recycled wooden particleboard, Waste management Journal, 28: 57-63.

[11] Roffael, E., Huster, H.G., 2012. Complex chemical interactions on thermo hydrolythic degradation of urea formaldehyde resins (UF-resins) in recycling UF-bonded boards, Eur. J. Wood. Prod, 70: 401-405.

[12] 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.

[13] Feng.Y., Mu.J., Chen. S.H., Huang. Z.H., Yu.Z.H., 2012. The influence of urea formaldehyde resins on pyrolysis characteristics and products of wood based panels. Bio resources Journal, 7(4): 4600-4613

[14] 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.

[15] Rao, T. R., Sharma, A., 1998. Pyrolysis rates of biomass materials, Energy, 23(11): 973-978.

[16] Hill, C.A.S., 2006. Wood modification: Chemical, thermal and other processes. JohnWiley & Sons, New York.425pp.

[17] Nassar, M.M., Mackay, G. D., 1984. Mechanism of thermal decomposition of lignin. Wood Fiber Sci, 16: 441-453.

[18] Lubis, M.A.R., Hong, M.-K., Park, B.-D., Lee, S.-M., 2018. Effects of recycled fiber content on the properties of medium density fiberboard. Eur. J. Wood Prod, 76, 1515–1526. doi.org/10.1007/s0010 7-018-1326-8

[19] Petar, A., 2019. Possibilities for manufacturing eco-friendly medium density fibreboards from recycled fibres -a review. In: Procedings of the 30th International Conference on Wood Science and Technology-ICWST 2019 "IMPLEMENTATION OF WOOD SCIENCE IN WOODWORKING SECTOR" and 70th anniversary of Drvna industrija Journal.

[20] Bodirlau, R., Teaca. C.A., 2007. Foriuer transform infrared spectroscopy and thermal analysis of lignocellulosic fillers treated with organic anhydrides. Rom. Journ. Phys, 54(1-2): 93-104.

www.SID.ir

Archive of SID

Recycling of waste MDF via digester and production of nanocrystalline cellulose from recycled fibers

Abstract

In this study, the fibers contained in the medium density fiberboard wastes were recycled using a digester. These fibers were then used to produce cellulose nanocrystals. Morphology, chemical structure and resin residues on fibers were investigated. The acid hydrolysis method was utilized to produce cellulose nanocrystals. The properties of nanocrystals made from virgin and recycled fibers were investigated. The results showed changes in the morphology and chemical structure of the recycled fibers. The recycled fibers using digester had a better quality as compared to the recycled fibers using the conventional recycling method (using autoclave). Elemental analysis showed that after recycling, resin residues remained on the fibers. Due to the shorter duration of heat treatment and the elimination of mechanical separation and the better quality of recycled fibers, it can be said that the utilization of digester can be considered as an efficient method for recycling medium density fiberboard wastes. Investigation of nanocrystalline cellulose properties showed that there was no difference between nanocellulose produced from virgin and recycled fibers and the recycled fibers can be well utilized for the production of cellulose nanocrystals.

Keywords: Recycling, MDF wastes, Digester, Autoclave, Cellulose Nanocrystals.

B. Moezzipour[1]
M. Sharari[1*]

[1] Assistant Professor, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili

Corresponding author:
shararim@uma.ac.ir

Received: 2021/05/30
Accepted: 2021/08/17

www.SID.ir