



دانشگاه گیلان

نشریه پژوهش‌های علوم و فناوری چوب و جنگل

جلد بیست و چهارم، شماره چهارم، ۱۳۹۶

<http://jwfst.gau.ac.ir>

مقایسه خشک کردن فیلم نانوفیبر سلولز باکتری با روش‌های جت درایر، وکیوم آون و آون

مازیار نوروزی^۱، *حسین یوسفی^۲ و مهدی مشکور^۲

^۱دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد، گروه تکنولوژی و مهندسی چوب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان،

^۲استادیار گروه تکنولوژی و مهندسی چوب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۲/۲۷؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۸/۲۶

چکیده

سابقه و هدف: یکی از روش‌های تولید نانوفیبر سلولز، روش سنتز توسط باکتری است که محصول آن بصورت فیلم نانوفیبر سلولز است. این ماده در طی بیوستتز، مقدار زیادی از آب (حدود ۹۹ درصد بر مبنای وزن کل ماده و ۹۹۰۰ درصد بر مبنای وزن خشک) را در خود محصور می‌کند و معمولاً هم به صورت یک فیلم یکپارچه تشکیل می‌گردد. علاوه بر سوپرجاذب بودن، از خواص عمده فیلم نانوسلولز سنتز شده توسط باکتری (نانوسلولز باکتری) می‌توان به موارد زیر اشاره کرد: زیست پایه بودن، زیست تخریب پذیری، ایمن، خوراکی، مقاومت‌های مکانیکی بالا و غیره. بر مبنای این خواص منحصر بفرد، فیلم نانوفیبر سلولز کاربردهای متعددی در طیف گسترده‌ای از رشته‌ها و صنایع پیدا کرده است. با عنایت به خواص منحصر به فرد فیلم نانوسلولز باکتری و کاربردهای متعدد و گسترده آن، انجام تحقیقاتی با محوریت این محصول که بتواند چالش‌های عمده سر راه تجاری‌سازی آن را کم یا حذف نماید از اهمیت به‌سزایی برخوردار است. یکی از این موضوعات تحقیقاتی خشک کردن نانوسلولزهاست به این دلیل که این فیلم یک ماده سوپرجاذب بوده و جداسازی آب از آن جهت خشک کردن به زمان و هزینه بیشتری نسبت به فیلم‌های میکرومتری سلولزی نیاز دارد. از طرفی خشک‌کنی این ماده فوائد زیادی دارد نظیر سبکتر شدن (تا ۹۹ بار)، کاهش هزینه حمل و نگهداری، کاهش خطرات حمله میکروارگانیک‌ها و کپک، نگهداری آسان‌تر، افزایش دامنه کاربردی، افزایش خواص فیزیکی و مکانیکی و غیره. بر این اساس در این مطالعه در نظر است فیلم نانوسلولز باکتری با سه روش جت درایر، آون و وکیوم آون خشک شده و علاوه بر ارزیابی روش‌های خشک‌کنی، خواص فیزیکی و مکانیکی فیلم‌های خشک‌شده نیز ارزیابی و مقایسه گردد.

مواد و روش‌ها: برای انجام این مطالعه فیلم نانوفیبر سلولز تهیه شده با سنتز باکتری از شرکت دانش بنیان نانونین پلیمر خریداری شد. بعد از آبگیری اولیه فیلم‌های نانوفیبر سلولز با روش‌های جت درایر، وکیوم آون و آون در دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد خشک شدند. روش‌های خشک کردن از نظر سرعت خروج آب، زمان حداقلی خشک‌کنی و انرژی خشک‌کنی با هم مقایسه شدند. همچنین فیلم‌های خشک شده از نظر خصوصیات ظاهری، دانسیته، شفافیت، نفوذپذیری، مقاومت به پارگی و ترکیب ارزیابی و با هم مقایسه گردیدند.

*مسئول مکاتبه: hyousefi@gau.ac.ir

یافته‌ها: نتایج نشان داد که آبیگری اولیه ۵۰ درصد میزان آب موجود در فیلم را کم نمود. سرعت خروج آب روش جت درایر نسبت به روش‌های وکیوم‌آون و آون بیشتر بود. حداقل زمان خشک‌کنی فیلم نانوسلولز در روش‌های جت‌درایر، وکیوم‌آون و آون به ترتیب برابر با ۱۰، ۲۵ و ۴۵ دقیقه به دست آمد. مقادیر متناظر انرژی مصرفی خشک‌کنی برای سه روش به ترتیب ۰/۲۵، ۰/۶۷ و ۱/۱ کیلووات ساعت اندازه‌گیری شد. فیلم‌های خشک شده با روش جت‌درایر دارای چین‌خوردگی نسبتاً بیشتر و شفافیت ظاهری کمتری نسبت به دو روش دیگر ارزیابی گردید. دانسیته فیلم‌های خشک شده در روش جت درایر کمی بیشتر و مقاومت به پارگی و ترکیدن آن‌ها کمتر از نمونه‌های خشک شده در وکیوم‌آون و آون به دست آمد.

نتیجه‌گیری: به‌طور کلی، در روش جت درایر زمان و انرژی خشک کردن به‌طور چشمگیری کمتر از دو روش دیگر بودند که از دیدگاه تولید صنعتی و اقتصادی حائز اهمیت است. خشک‌کنی فیلم‌های نانوفیبر سلولز که توانسته ۹۹ برابر وزن آن را کاهش دهد می‌تواند سبب مزایای متعدد کاربردی و عملیاتی برای تجاری‌سازی بیشتر این محصول مهم گردد.

واژه‌های کلیدی: فیلم نانوفیبر سلولز، خشک‌کردن، جت درایر، وکیوم‌آون، آون

مقدمه

برای این فیلم در نظر گرفت که عبارتند از: استفاده در تولید نانو کامپوزیت، فوم و فیلتر زیستی، کاغذسازی، پزشکی، مهندسی پزشکی، صنایع آرایشی، صنایع غذایی، صنایع بسته بندی و نساجی، کشاورزی، صنایع الکترونیکی و مغناطیس، هوا فضا، خودرو، ساختمان و غیره (۱-۳). با عنایت به خواص منحصر به فرد فیلم نانوسلولز باکتری و کاربردهای متعدد و گسترده آن، انجام تحقیقاتی با محوریت این محصول که بتواند چالش‌های عمده سر راه تجاری‌سازی آن را کم یا حذف نماید از اهمیت به‌سزایی برخوردار است. به‌طور کلی خشک کردن فیلم نانوسلولز مزایای متعددی دارد که عبارتند از سبک‌تر شدن (تا ۹۹ بار)، کاهش هزینه حمل و نگهداری، کاهش خطرات حمله میکروارگانیسم‌ها و کپک، نگهداری آسان‌تر، افزایش دامنه کاربردی و افزایش خواص فیزیکی و مکانیکی (۴-۷). از طرفی فیلم نانوسلولز باکتری هم به دلیل ماهیت شیمیایی و داشتن گروه‌های هیدروکسیل فراوان و هم به دلیل ماهیت فیزیکی و داشتن ساختار شبکه‌ای و موینگی یک محصول سوپرچادب

علاوه بر روش‌های بالا به پایین تولید نانوسلولز نظیر روش هیدرولیز اسیدی، سوپراسیاب دیسکی، اکسیداسیون تمپو و ...، روش دیگر تولید نانوساختارهای سلولزی، مکانیسم پایین به بالا نظیر سنتز باکتری می‌باشد. محصول تولید شده با این روش نانوفیبر سلولز باکتری نام داشته که توسط برخی باکتری‌ها مانند *Gluconacetobacter (G.xylinus)* در محل کشت در یک دوره زمانی حدود دو هفته شکل می‌گیرد و متوسط قطر نانوفیبرها تقریباً بین ۳۰ تا ۶۰ نانومتر می‌باشد. نانوفیبر سلولز باکتری در طول بیوسنتز در محل کشت، مقدار زیادی از آب (بیش از ۹۹ درصد) را در خود محصور می‌کند و معمولاً هم به صورت یک فیلم یکپارچه تشکیل می‌گردد (۱-۳). علاوه بر سوپرچادب بودن، از خواص عمده فیلم نانوسلولز باکتری می‌توان به موارد زیر اشاره کرد: زیست پایه بودن، زیست تخریب‌پذیری، ایمن، خوراکی، مقاومت‌های مکانیکی بالا. بر مبنای این خواص منحصر به فرد، کاربردهای متعددی را می‌توان

خشک شده و خواص فیزیکی و مکانیکی آن ارزیابی و مقایسه گردد.

مواد و روش‌ها

مواد اولیه مورد استفاده فیلم نانوفیبرسلولز تولید شده با روش سنتز باکتری بود که از شرکت دانش بنیان نانو نوین پلیمر (ایران) تهیه گردید (شکل ۱).

محسوب شده و قدرت جذب آب زیادی دارد. بنابراین خارج کردن آب از این محصول نسبت به فیلم‌های معمولی میکرومتری سلولزی مستلزم صرف انرژی و زمان بیشتری می‌باشد (۴-۷). از این رو یافتن روشی مناسب از جهت راندمان و هزینه و مصرف انرژی برای خشک‌کنی این محصول حائز اهمیت می‌باشد. در این مطالعه در نظر است فیلم نانوسلولز باکتری با سه روش جت درایر، وکیوم آون و آون



شکل ۱- فیلم نانوفیبر سلولز شرکت نانونوین پلیمر مورد استفاده در این مطالعه.

Figure 1. Bacterial cellulose nanofiber film (Nano Nevin Polymer Co., Iran) used in this study.

جهت محاسبه مقدار آب موجود در فیلم، نمونه‌های با وزن تر مشخص، قبل و بعد از آبیگری اولیه و به ابعاد 200×200 میلی‌متر در آون با دمای 100 درجه سانتی‌گراد به مدت 4 ساعت قرار گرفت و در آخر با جمع‌آوری ماده خشک، درصد مقدار آب و غلظت ماده خشک بر مبنای وزن کل ماده (وزن سلولز+وزن آب) آن‌ها طبق فرمول زیر محاسبه شد (۸).

برای ارزیابی ابعاد نانومتری نانوسلولز در ماده اولیه و نیز بررسی ساختار و اندازه‌گیری متوسط ابعاد نانوسلولز ریزنگاره‌های الکترونی نمونه‌ها تهیه شد. نمونه‌ها ابتدا در خلا خشک شده و سپس با ذرات طلا اندود شدند. نمونه‌های اندود شده با میکروسکوپ الکترونی روبشی گسیل میدان^۱ ($FE-SEM$) در ولتاژ 15 کیلوولت عکسبرداری شدند. برای اندازه‌گیری قطر فیبرها 30 عدد نانوفیبر در ریزنگاره‌های الکترونی با نرم‌افزار *Digimizer* (شرکت *MedCalc Software*) مورد بررسی قرار گرفتند.

میلی‌متر ابتدا توزین شده و سپس در سه روش خشک کردن موردنظر یعنی جت درایر، وکیوم‌آون^۱ و آون^۲ در دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد خشک شدند. جت درایر آزمایشگاهی دست‌ساز بوده که مصرف برق آن ۲۴۰۰ وات و سرعت خروج باد گرم آن معادل ۳۵ متر بر ثانیه بوده است. حداکثر مقدار خلا دستگاه وکیوم‌آون ۰/۱ بار بوده است. طی خشک شدن و زمان‌های مختلف ۲، ۵، ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰، ۵۰، ۶۰ دقیقه نمونه‌ها از دستگاه خشک‌کن خارج شده و توزین شدند. جهت محاسبه سرعت خروج آب، مقدار وزن هر نمونه از وزن تر هر نمونه که در زمان‌های مختلف ذکر شده در بالا به دست آمده بود کم شد تا عدد باقی‌مانده مقدار آب موجود در فیلم را در زمان‌های مختلف خشک‌کنی نشان دهد. نهایتاً تغییرات داده‌های مقدار آب به دست آمده برای هر روش خشک‌کنی به صورت نمودار خطی نشان داده شد. جهت نگهداری و جلوگیری از چین خوردگی نمونه‌ها، قابی از *MDF* (روکش شده) به ابعاد ۲۰۰×۲۰۰ میلی‌متر ساخته شده و روی قاب صفحه توری از جنس پلی‌استر با مش ۳۵۰ قرار داده شد تا خروج رطوبت از نمونه تسهیل گردد (شکل ۲).

$$WC\% = \left(\frac{Ww}{Wt} \right) \times 100 \quad (1)$$

$$BCN\% = (Wbcn/Wt) \times 100 \quad (2)$$

WC%: درصد مقدار آب

Ww: وزن آب نمونه

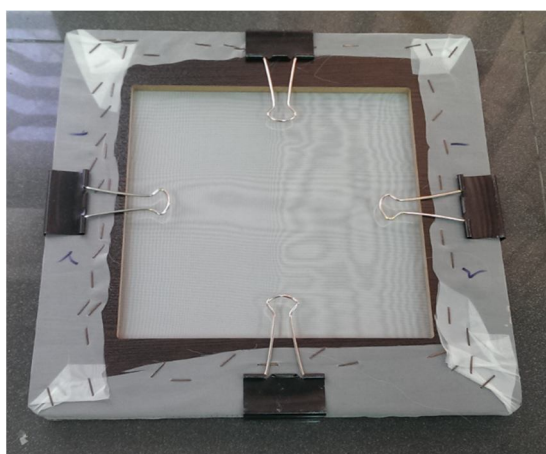
Wbcn: وزن خشک نمونه

Wt: مجموع وزن سلولز+ وزن آب

BCN%: درصد نانوفیبر سلولز باکتری

همان‌طوری که گفته شد فیلم نانوفیبر سلولز ظرفیت جذب و نگهداری آب بسیار بالا (حدود ۹۹۰۰ درصد جذب بر مبنای وزن خشک) دارد. به‌طوری که یک گرم از آن می‌تواند تا حدود ۹۹ گرم آب را در خود نگه دارد (۱-۳). جهت تسریع در فرآیند خشک کردن از همه فیلم‌های تهیه شده ابتدا آبدگیری اولیه‌ای صورت گرفت بدین ترتیب که فیلم‌ها بین دو شیشه قرار گرفته و شیشه‌ها با گیره محکم شدند. فرآیند آبدگیری اولیه تا زمانی ادامه داشت که خروج آب از فیلم متوقف گردد.

جهت مقایسه کارایی و قدرت سه روش خشک کردن آزمون سرعت خروج آب انجام شد. جهت محاسبه سرعت خروج آب نمونه‌ها به ابعاد ۲۰۰×۲۰۰



شکل ۲- قاب و توری ساخته شده به‌عنوان نگهدارنده فیلم نانوسلولز باکتری.

Figure 2. The sample holder of BCN film composed of MDF covered by polyester screen with mesh size of 350.

$$P = 128 \div S \quad (5)$$

P: نفوذپذیری به هوا

S: زمان لازم برای عبور ۱۰۰ سی سی هوا

برای انجام آزمون مقاومت به پارگی نمونه‌ها از استاندارد TAPPI T414om-04 و نمونه‌های مستطیل شکل به ابعاد ۵۰×۶۳ میلی‌متری استفاده شد. برای ارزیابی مقاومت به پارگی از دستگاه آزمون پارگی^۴ (Frank Co., Germany) استفاده شد. مقدار نیروی لازم برای پاره کردن یک قطعه فیلم در شرایط مشخص را مقاومت به پاره شدن می‌گویند. شاخص مقاومت به پاره شدن از رابطه زیر محاسبه می‌گردد:

(۶)

= شاخص مقاومت به پارگی (mNm²/g)

$$\frac{(m/N) \text{ مقاومت به پارگی}}{(g/m^2) \text{ وزن پایه}}$$

آزمون ترکیدن بر اساس استاندارد TAPPI T403 om-97 با نمونه‌هایی به ابعاد ۹۰×۹۰ mm و توسط دستگاه آزمون ترکیدن^۵ انجام شد. مقاومت به ترکیدن عبارت است از میزان فشار سیال داخل دیافراگم دستگاه بر حسب کیلوپاسکال یا psi که فیلم تا قبل از پاره شدن می‌تواند تحمل نماید. برای محاسبه شاخص مقاومت به ترکیدن از رابطه زیر استفاده شد:

(۷)

= شاخص مقاومت به ترکیدن (kPa m²/g)

$$\frac{(kPa) \text{ فشار وارده بر فیلم}}{(g/m^2) \text{ وزن پایه}}$$

نتایج و بحث

شکل ۳ ریزنگاره میکروسکوپ FE-SEM فیلم نانوفیبرسلولز تهیه شده را نشان می‌دهد. نانوسلولز موجود در فیلم به شکل نانوفیبر بوده به طوری که قطر

برای محاسبه انرژی مصرفی خشک‌کنی از دستگاه پاورمتر دیجیتال^۱ استفاده گردید. با استفاده از پاورمتر توان مصرفی دستگاه‌های خشک کردن محاسبه شده و با استفاده از رابطه زیر مقدار انرژی مصرفی بر حسب کیلو وات ساعت اندازه‌گیری گردید:

$$E = (W \times T) \div 1000 \quad (3)$$

E=انرژی مصرفی (کیلو وات ساعت)

W=توان بر حسب وات

T= زمان بر حسب ساعت

پس از فرآیند خشک‌کردن، نمونه‌ها به ابعاد ۳۰×۳۰ میلی‌متر جدا شده و ضخامت آن‌ها توسط میکرومتر^۲ اندازه‌گیری و توسط ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۰۰۱ توزین شد و در نهایت دانسیته آن‌ها از طریق رابطه زیر تعیین گردید.

$$D = m/v \quad (4)$$

D=دانسیته فیلم

m=وزن خشک فیلم

v=حجم فیلم

جهت آزمون شفافیت کیفی، ابتدا فیلم‌ها به ابعاد ۱۰۰ در ۱۰۰ میلی‌متر را روی یک متن گذاشته و سپس با قرار دادن یک شیشه روی هر نمونه و توسط دوربین دیجیتال اقدام به عکسبرداری از آن‌ها شد (۲).

جهت آزمون نفوذپذیری به هوا نمونه‌هایی به ابعاد ۶۰×۶۰ mm تهیه گردید. به منظور بررسی نفوذپذیری فیلم‌های مورد نظر طبق استاندارد TAPPI T 460 و با دستگاه^۳ Gurley مدت زمان لازم جهت عبور ۱۰۰ میلی‌لیتر هوا از نمونه محاسبه شده و سپس با فرمول زیر میزان نفوذپذیری به هوا به دست می‌آید.

1- Digital powermeter (Efergy EMS-EU, UK)

2- Vaccum oven

3- Oven

2- Micrometer (Sylvac Co., Austria)

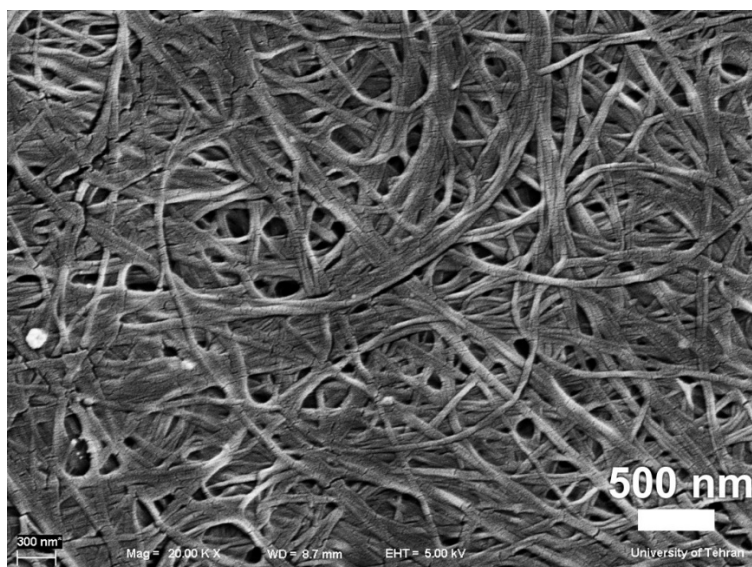
3- Gurley densitometer (Chevron Co., USA)

4- Tear Tester (Frank Co., Germany)

5- Burst Tester (Frank PTI., Germany)

درجه کریستالی بیشتر، خلوص بالاتر، توزیع قطری کمتر، نسبت طول به قطر بیشتر و مقاومت بیشتر (۱-۳).

متوسط آن 45 ± 15 نانومتر و طول آن بیشتر از ۱۰ میکرومتر محاسبه شد. مشخصه‌های این نانوسلولز در مقایسه با نانوسلولز حاصل از الیاف چوب عبارتند از

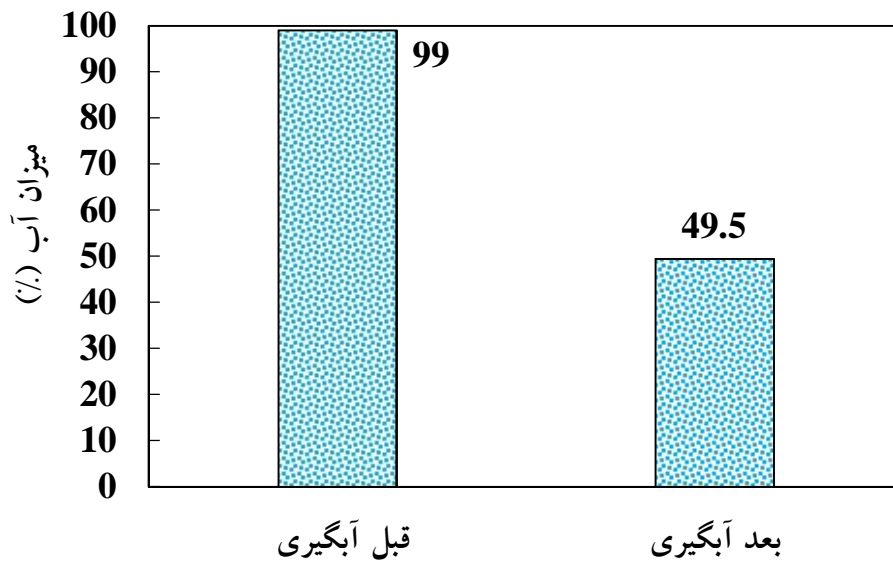


شکل ۳- ریزنگاره FE-SEM نانوفیبر سلولز باکتری مورد استفاده در این مطالعه.

Figure 3. FE-SEM micrograph of BCN used in this study.

یعنی حدود ۵۰ درصد کاهش برساند و لذا غلظت ماده خشک نانوسلولز به ۲ برابر افزایش دهد. هدف از این مرحله کاهش میزان آب فیلم‌ها جهت تسهیل فرآیند خشک کردن و کاهش زمان خشک‌کنی آنها بوده است. بالا بودن ظرفیت جذب آب نانوفیبر سلولز را می‌توان به سطح ویژه زیاد و گروه‌های هیدروکسیل در دسترس و نیز ساختار شبکه‌ای و اسفنجی فیلم نانوسلولز مرتبط دانست که می‌تواند نیروی موئینگی زیادی ایجاد نماید (۱-۷).

شکل ۴ اثر زمان آبیگری اولیه بر میزان درصد آب موجود در فیلم را نشان می‌دهد. نتایج نشان داد که بر مبنای وزن کل ماده (وزن آب+وزن خشک نانوسلولز) متوسط مقدار درصد آب فیلم نانوسلولز ۹۹ درصد و وزن خشک ماده نانوسلولز یک درصد بوده است. البته اگر چنانچه درصد آب بر مبنای وزن خشک محاسبه گردد مقدار آب فیلم ۹۹۰۰ درصد به دست می‌آید. زمان متوسط آبیگری اولیه برای فیلم‌ها حدود ۱ ساعت بوده است. آبیگری اولیه توانست به‌طور متوسط میزان آب فیلم را از ۹۹ درصد به $49/5$ درصد

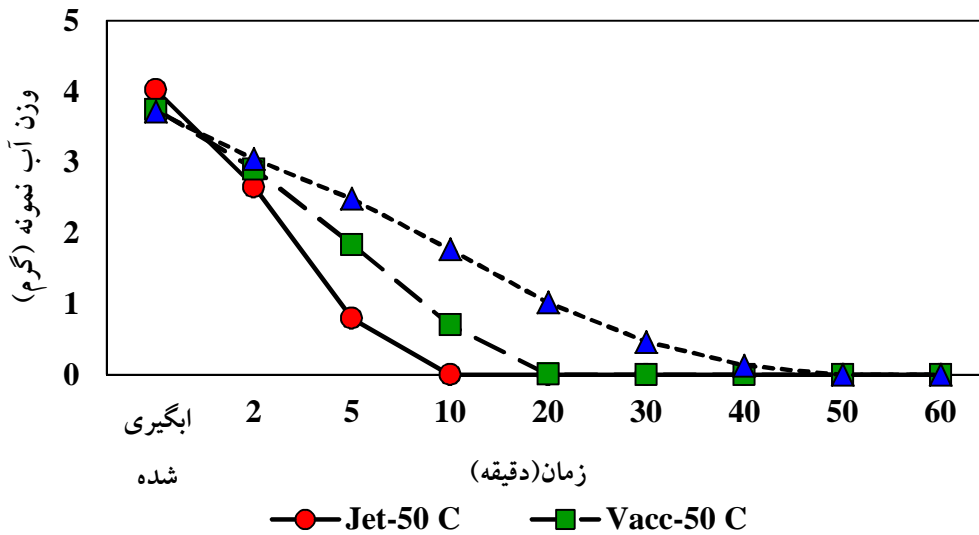


شکل ۴- اثر آبگیری اولیه بر میزان آب نانوفیبر سلولوز.

Figure 4. Effect of primary dewatering on water content of BCN film.

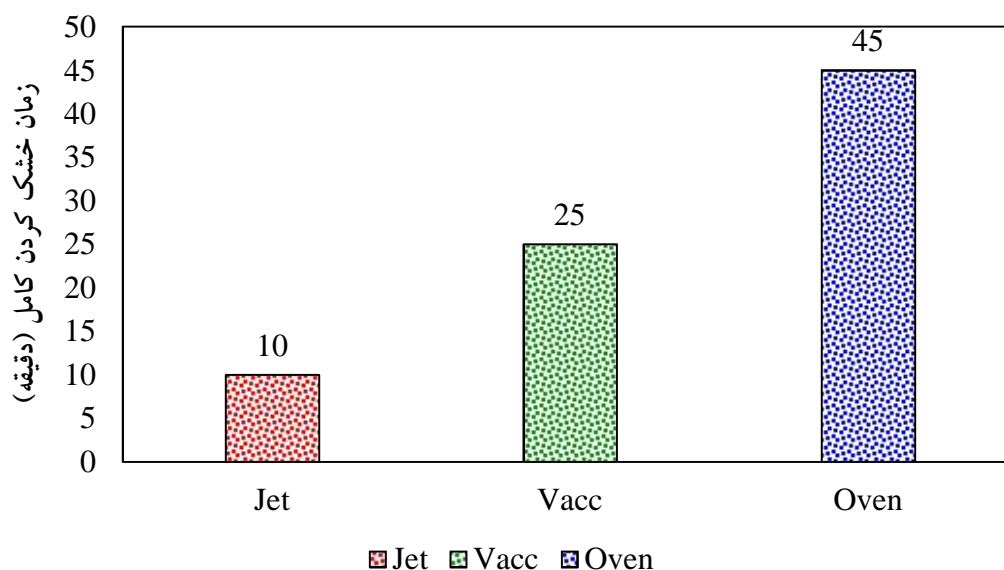
خط، بیشترین سرعت خروج آب مربوط به روش جت درایر و کمترین سرعت خروج آب مربوط به روش آون بوده است.

شکل ۵ و شکل ۶ به ترتیب اثر نوع روش خشک کردن بر سرعت خروج آب و زمان حداقلی خشک‌کنی کامل فیلم‌های نانوفیبر سلولوز در سه روش خشک‌کنی را نشان می‌دهد. با عنایت به مقایسه شیب



شکل ۵- اثر روش خشک‌کنی بر سرعت خروج آب نمونه‌ها.

Figure 5. Effect of drying method on the water withdrawal velocity.

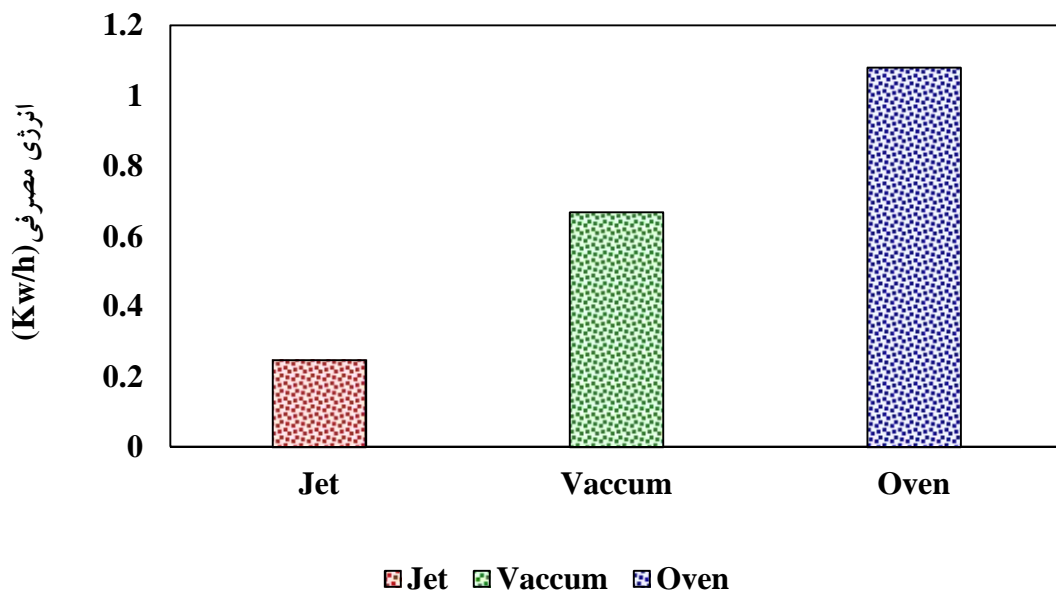


شکل ۶- اثر روش خشک‌کنی بر حداقل زمان خشک‌کنی کامل نمونه‌ها.

Figure 6. Effect of drying methods on minimum time for complete drying of specimens.

شکل ۷ اثر روش‌های مختلف خشک‌کنی بر مصرف انرژی خشک‌کنی را نشان می‌دهد. انرژی مصرفی دستگاه‌های خشک‌کن در بحث تجاری‌سازی و اقتصادی اهمیت دارد. کمترین مقدار انرژی مصرفی مربوط به روش جت درایر (۰/۲۷ کیلووات ساعت) و بیشترین مقدار مربوط به روش آون (۱/۱ کیلووات ساعت) بوده است. از آنجایی که مصرف برق سه خشک‌کن تقریباً با هم برابر بود مصرف انرژی رابطه مستقیمی با زمان خشک‌کنی پیدا کرد. در روش جت درایر کوتاه‌ترین زمان خشک‌کنی (۱۰ دقیقه) به دست آمد لذا مقدار مصرف انرژی آن نیز کمترین مقدار بوده است و برعکس در روش آون با طولانی‌ترین زمان خشک‌کنی (۴۵ دقیقه) بیشترین مصرف انرژی را نشان داده است.

زمان حداقل خشک‌کنی کامل فیلم‌ها در واقع همان زمان‌های موردنیاز جهت خروج کامل آب از فیلم نانوسلولز بوده‌اند. این زمان برای روش جت درایر کمترین مقدار (۱۰ دقیقه) و برای روش‌های وکیوم آون (۲۵ دقیقه) و آون (۴۵ دقیقه) بیشتر بوده است. در روش جت درایر به دلیل وجود هوای گرم و سرعت بالای آن (۳۵ متر بر ثانیه)، مولکول‌های آب با سرعت بیشتری از سطح نمونه جدا شده و لذا خروج آب با سرعت بیشتر از نمونه رخ داده و در زمان کمتری به طور کامل خشک شد. در روش وکیوم آون به علت وجود خلا در حین عملیات خشک‌کنی مولکول‌های آب نسبت به روش آون معمولی سریع‌تر خارج شده و نمونه خشک گردید.



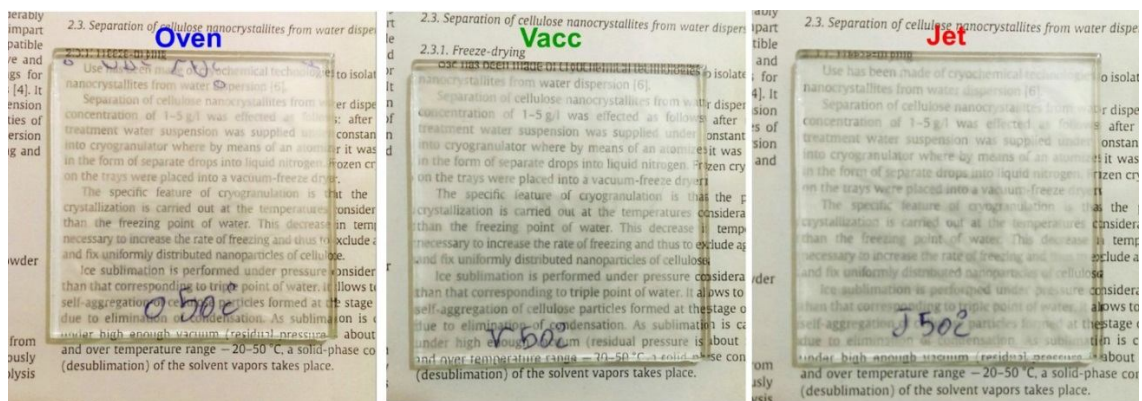
شکل ۷- اثر روش خشک‌کنی بر میزان مصرف انرژی خشک‌کنی.
Figure 7. Effect of drying methods on energy consumption.

شفافیت نمونه‌ها در شکل ۸ می‌توان نتیجه گرفت که فیلم‌های خشک شده نیمه‌شفاف (*translucent*) هستند. به نظر می‌رسد عدم وجود فشار پرس مناسب در حین خشک‌کنی نمونه‌ها تأثیر به‌سزایی در میزان چین‌خوردگی داشته است. به نظر می‌رسد با توجه به نازک بودن فیلم‌های خشک شده (حدود ۲۵ میکرومتر)، قاب تثبیت‌کننده فیلم که حین خشک‌کنی استفاده شده (شکل ۲) نتوانسته است به‌خوبی سبب تثبیت نمونه شده و از چین‌خوردگی آن جلوگیری کند.

شکل ۸ و شکل ۹ خصوصیات ظاهری فیلم‌های خشک شده با سه روش مختلف را نشان می‌دهد. در روش جت درایر سطح فیلم کمی چین‌خوردگی داشت که به دلیل سرعت بالای برخورد جریان هوای گرم به سطح فیلم و عدم وجود فشار پرس در حین خشک‌کنی می‌باشد. در روش‌های وکیوم آون و آون مقدار چین‌خوردگی نسبتاً کمتر بوده است. شفافیت کیفی نمونه‌ها هم متأثر از این چین‌خوردگی می‌باشد. نمونه‌های خشک شده در وکیوم آون دارای شفافیت ظاهری بیشتر از روش‌های دیگر بوده است. با مقایسه



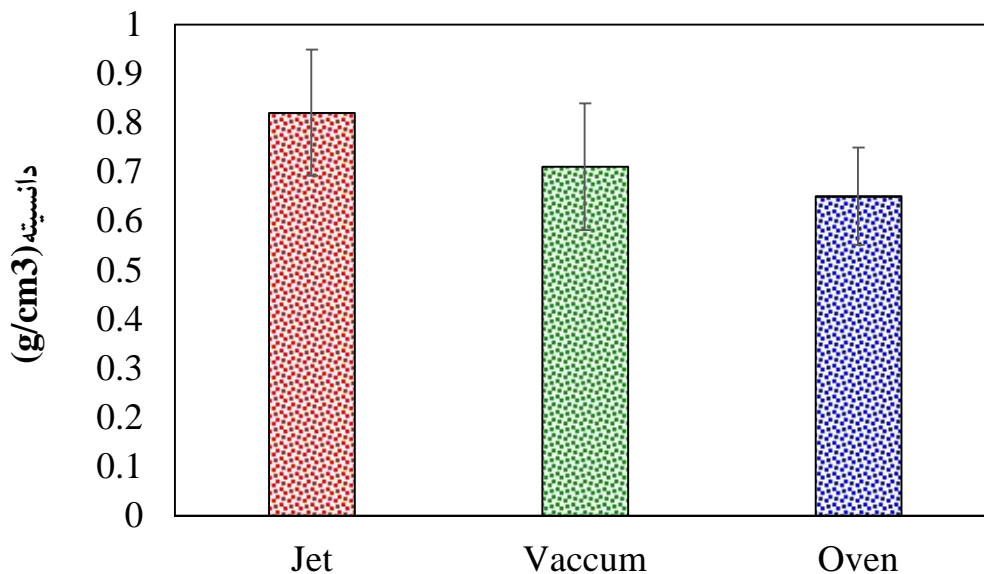
شکل ۸- اثر روش خشک‌کنی بر کیفیت ظاهری سطح فیلم نانوفیبر سلولز.
Figure 8. Effect of drying methods on surface apparent quality of BCN film.



شکل ۹- اثر روش خشک‌کنی بر شفافیت ظاهری فیلم نانوفیبر سلولز.
Figure 9. Effect of drying methods on apparent transparency.

جت درایر (۰/۸۲ گرم بر سانتی‌متر مکعب) و آون (۰/۷ گرم بر سانتی‌متر مکعب) دیده شده است. هر چند اختلاف بین دانسیته‌ها معنی‌دار نبوده است. به نظر می‌رسد با افزایش سرعت خشک‌کنی تنش‌های ناشی از خشک شدن بیشتر بوده و همکشیدگی در جهت ضخامت فیلم‌ها مقداری افزایش می‌یابد لذا دانسیته فیلم‌ها مقداری اضافه می‌گردد.

شکل ۱۰ اثر نوع روش خشک‌کنی را بر دانسیته نمونه‌ها نشان می‌دهد. دامنه مقادیر دانسیته محاسبه شده بین ۰/۷۵ تا ۱ گرم بر سانتی‌متر مکعب بوده است. از آنجایی‌که فشار پرس بسیار کمی در حین خشک‌کنی نمونه‌ها اعمال شده لذا مقادیر دانسیته نمونه‌ها نسبت به دانسیته ذاتی سلولز ($1/5 \text{ g/cm}^3$) کمتر به دست آمد. به‌طور میانگین بیشترین و کمترین مقدار دانسیته به ترتیب در نمونه‌های خشک شده در

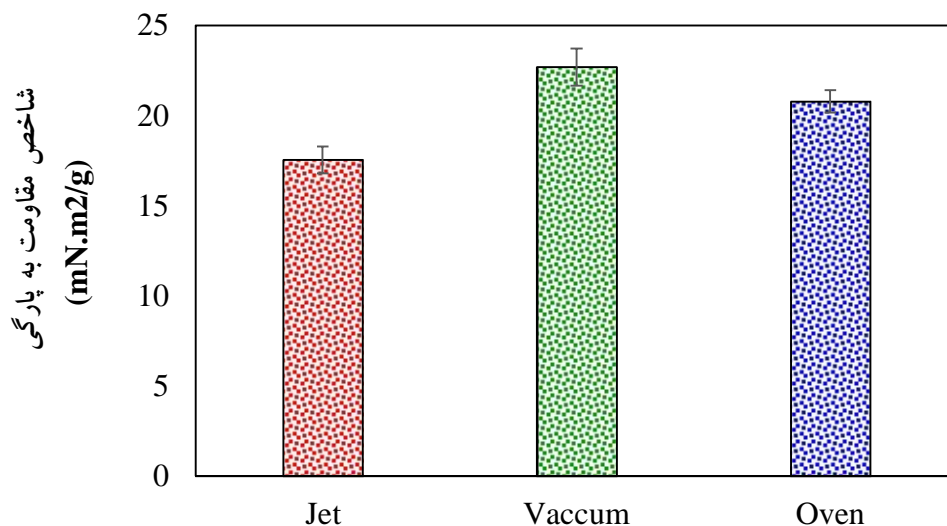


شکل ۱۰- اثر روش خشک‌کنی بر دانسیته نمونه‌ها.

Figure 10. Effect of drying methods on the density of specimens.

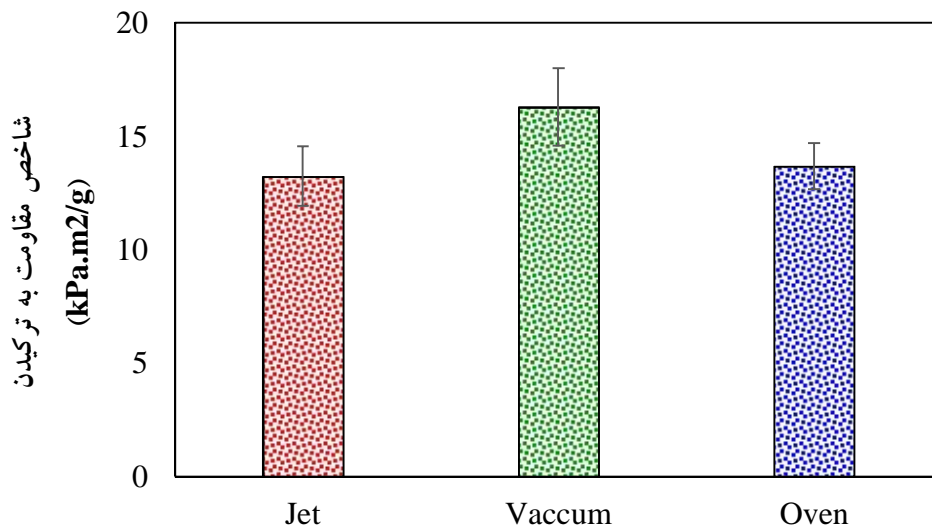
شکل ۱۱ و ۱۲ اثر روش خشک‌کنی بر شاخص مقاومت به پارگی و ترکیدن را نشان می‌دهد. بیشترین مقدار شاخص مقاومت به پارگی و ترکیدن مربوط به نمونه‌های خشک‌شده در وکیوم آن و کمترین مقدار مربوط به نمونه‌های خشک‌شده در جت درایر به دست آمد. احتمالاً در اثر خشک‌کنی سرعت بالای فیلم‌ها پارگی‌های موضعی در نانوفیبرها ایجاد می‌شود که در اثر تنش‌های حاصل از خشک‌کنی به وجود می‌آیند و سبب کاهش مقاومت‌ها می‌گردد. زمانی که اثر چین‌خوردگی بیشتر نمونه‌های خشک‌شده در جت درایر و چین‌خوردگی کمتر در نمونه‌های خشک‌شده در وکیوم آن در نظر گرفته می‌شود این تحلیل معقول به نظر می‌رسد. شکستگی‌ها در نانوفیبرها و چین‌خوردگی ایجاد شده روی سطح نقاط ضعیفی ایجاد می‌کند که تحت تنش مکانیکی شکست از همین نقاط با مقاومت کمتر شروع شده و سبب پاره شدن نمونه می‌شود.

نتایج آزمون نفوذپذیری به هوا نشان داد که در همه موارد میزان نفوذپذیری نمونه‌ها صفر به دست آمده است. لازم به توضیح است که طبق روش گرلی زمان موردنیاز برای عبور ۱۰۰ سی‌سی هوا از نمونه محاسبه شده و بر اساس این زمان به دست آمده میزان نفوذپذیری به هوای نمونه‌ها بر اساس فرمول ۵ محاسبه می‌گردد. اما با توجه به این که ۱۰۰ سی‌سی هوا از نمونه عبور نکرد لذا طبق استاندارد، نفوذپذیری به هوای همه نمونه‌ها صفر به دست آمد. به عبارت دیگر، همه نمونه‌ها علی‌رغم این که دانسیته کمتر از ۱ گرم بر سانتی‌متر مکعب داشتند کاملاً به عبور هوا مقاوم بودند. این نتیجه را می‌توان به این صورت تفسیر نمود که احتمال می‌رود به دلیل سطح ویژه بسیار زیاد نانوسلولز، پس از خشک شدن، سطح پیوند بسیار گسترده و وسیعی بین نانو الیاف سلولزی ایجاد شده و لذا تخلخل موجود در فیلم‌های نانوفیبر سلولز به صورت ریزحفرات ناپیوسته باشند، بنابراین فیلم خاصیت کاملاً نفوذناپذیر نشان داده است (۲).



شکل ۱۱- اثر روش خشک‌کنی بر شاخص مقاومت به پارگی نمونه‌ها.

Figure 11. Effect of drying methods on tear strength index of specimen.



شکل ۱۲- اثر روش خشک‌کنی بر شاخص مقاومت به ترکیدن نمونه‌ها.
Figure 12. Effect of drying methods on burst strength index.

کاهش یافته و فیلم‌ها در زمان انبارداری نیز دچار تخریب بیولوژیکی نمی‌شوند لذا زمان ماندگاری آن‌ها هم افزایش می‌یابد. از دیدگاه کاربردی نیز حذف آب سبب افزایش تعداد و تنوع کاربردهای فیلم می‌گردد. به‌طور کلی در بین سه روش خشک‌کنی به‌ترتیب ابتدا جت‌درایر به‌عنوان سریع‌ترین روش، سپس وکیوم‌آون و در نهایت روش آون طولانی‌ترین زمان خشک‌کنی را نشان دادند. در دمای برابر ۵۰ درجه سانتی‌گراد، جت‌درایر توانسته ۴۵۰ درصد زمان خشک‌کنی را نسبت به آون معمولی کاهش دهد. این نتیجه به‌طور کلی از دیدگاه تجاری و اقتصادی حائز اهمیت می‌باشد چرا که کاهش زمان خشک‌کنی به معنی کاهش انرژی مصرفی و کاهش هزینه‌های خشک‌کنی و نیز افزایش راندمان تولید می‌باشد. استفاده از قاب تثبیت‌کننده مناسب‌تر در حین خشک‌کنی که بتواند مانع چین‌خوردگی فیلم‌های نانوفیبر سلولز شود در پژوهش‌های مرتبط بعدی توصیه می‌گردد.

نتیجه‌گیری

در این مطالعه فیلم نانوفیبر سلولز باکتری با روش‌های جت‌درایر، وکیوم‌آون و آون خشک‌شده و به بررسی عملکرد خشک‌کنی سه روش و بعضی از خواص فیزیکی و مکانیکی نمونه‌های خشک‌شده پرداخته شد. خشک‌کنی فیلم نانوسلولز که با موفقیت در این مطالعه و با سه روش انجام شد سبب تولید فیلم خشکی شد که نسبت به حالت تر آن دارای مزایای فنی، اقتصادی و کاربردی متعددی می‌باشد. برای مثال در اثر خشک شدن وزن فیلم نانوسلولز حدود ۹۹۰۰ درصد (۹۹ بار) کاهش یافته، این بدان معنی است که اگر خواسته شود مثلاً ۱۰ تن فیلم تر اولیه با ۹۹۰۰ درصد آب جابجا گردد صرفاً می‌توان ۱۰۰ کیلو فیلم بربنای وزن خشک و ۹۹۰۰ کیلو آب همراه آن را حمل نمود حال آن‌که با خشک شدن کامل فیلم‌ها می‌توان تقریباً ۱۰۰۰۰ کیلو فیلم نانوسلولز را جابجا کرد لذا هزینه حمل در واحد وزن به‌طور قابل ملاحظه‌ای کاهش می‌یابد. همچنین با خشک کردن فیلم نانوسلولز حجم انبار لازم فیلم‌ها

منابع

- 1- Iguchi, M., Yamanaka, S., and Budhiono, A. 2000. Bacterial cellulose—a masterpiece of nature's arts. *Journal of Materials Science.*, 35(2): 261-270.
- 2- Yousefi, H., Faezipour, M., Hedjazi, S., Mousavi, M.M., Azusa, Y., and Heidari, A.H. 2013. Comparative study of paper and nanopaper properties prepared from bacterial cellulose nanofibers and fibers/ground cellulose nanofibers of canola straw. *Industrial Crops and Products.*, 43: 732– 737.
- 3- Mazhari Mousavi, M., Yousefi, H., Hasanjanzadeh, H., and Yousefi, R. 2011. Production, properties and applications of bacterial cellulose nanofibers. The first conference on nanotechnology and its application in agriculture and natural Resources. Karaj, Iran.
- 4- Peng, Y., Gardner, D.J., and Han, Y. 2012. Drying cellulose nanofibrils: in search of a suitable method. *Cellulose.*, 19(1): 91-102.
- 5- Voronova, M.I., Zakharov, A.G., Kuznetsov, O.Y., and Surov, O.V. 2012. The effect of different drying technical of nanocellulose dispersions on properties of dried materials. *Materials letters*, 68: 164-167.
- 6- Wei, B., Yang, G., and Hong, F. 2011. Preparation and evaluation of a kind of bacterial cellulose dry films with antibacterial properties. *Carbohydrate Polymers*, 84(1): 533-538.
- 7- Pirayesh, H.R., Azadfallah, M., Dosthosseini, K., Belsi, K., and Yousefi, H. 2015. The effect of different drying methods on cellulosic nanofibers and resulting composites. *Iranian Journal of Wood and Paper Industries*. 6(2): 285-298.
- 8- Buchholz, F.L., and Graham, A.T. 1998. *Modern Superabsorbent Polymer Technology*, Wiley VCH, New York, Ch 1-7.



Compariosn of drying bacterial cellulose nanofiber film using jet drier, vaccuum oven and oven

M. Norouzi¹, *H. Yousefi² and M. Mashkour²

¹M.Sc. Graduate, Laboratory of Sustainable Bio-Nanomaterials, Dept., of Wood Engineering and Technology, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran,

²Assistant Prof., Dept., of Wood Engineering and Technology, Wood Engineering and Technology, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran

Received: 05/17/2017; Accepted: 11/17/2017

Abstract

Background and objectives: Bacterial cellulose nanofiber (BCN) with diameter size of 30 to 60 nm is naturally produced in film form. After purification, a semi-transparent film is prepared with water absorption of 99 folds its dry weight; hence it is classified as super absorbent material. The BCN film is completely bio-based and biodegradable, safe, edible material with high specific surface area, high mechanical and reinforcing properties. Based on these promising characteristics, it found wide variety of applications such as nanocomposite, aerogel and foam, filter, paper making, packaging, medical, biomedical, pharmaceutical, cosmetics, food, textile, agriculture, electronics, magnetics, aerospace, automotive, defence, building, etc. Based on the promising properties and wide variety of application, it is worth to research on removing the drawbacks of BCN film to develop its applications at industrial scale production. One of these important research topics is drying BCN film. Because, drying BCN film has several advantages including film lightening (99 fold), decrease in transportation cost, long term storage, increase in biological deterioration, simpler storage, increase in mechanical properties and developing area of applications. On the other hand, BCN film is super absorbent material because of high amount of available OH-groups and having 3-D network structure, which prepare high capillary forces. Because of these, removing water from this super absorbent nano-biopolymer needs high energy, time and cost compared to drying ordinary micro-scale cellulose fiber film like paper. This motivated us to compare different drying methods including jet drier, vacuum oven and oven to dry BCN film.

Materials and methods: Bacterial cellulose nanofiber film was prepared from Nano Novin Polymer Co. (Iran). After primary dewatering step, the BCN film was dried using jet drier, vacuum oven and oven at 50 °C. The drying methods were evaluated and compared in regard to dewatering speed, minimum drying time and drying energy. Also, the dried BCN film were compared through physical and mechanical testing.

Results: Results showed that the primary dewatering could decrease the water content of BCN film by 50 wt%. The dewatering speed in jet drier was higher than that of vacuum oven and oven. The minimum drying time of jet drier, vacuum oven and oven was 10, 25 and 45 min, respectively. The corresponding values for energy consumption were 0.25, 0.67 and 1.1 KW/h, respectively. The BCN film dried in jet drier had higher wrinkle and less transparency compared to those dried in vacuum oven and oven. The density of dried BCN film in jet drier was slightly higher than those dried in vacuum oven and oven. Also, its tear and burst indexes were less than those of dried in other methods. Generally, jet drier with minimum drying time and less energy consumption could decrease the weight of BCN film 99 fold which can have several advantages to develop the commercialization of BCN film.

Keywords: BCN film, Drying, Jet drier, Vacuum oven, Oven

*Corresponding author: hyousefi@gau.ac.ir