



دانشگاه گوارش و صنایع غذایی

نشریه پژوهش‌های علوم و فناوری چوب و جنگل

جلد بیست و ششم، شماره سوم، ۱۳۹۸

۲۷-۱۵

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

DOI: 10.22069/jwfst.2019.16086.1793

## اثر پلاسمای سرد بر خصوصیات فیزیکی و مکانیکی نانو کاغذ تهیه شده از نانوفیبرهای سلولز و کیتین

حسام‌الدین جنت‌امانی<sup>۱</sup>، \* علی معتمدزادگان<sup>۲</sup>، محمد فارسی<sup>۳</sup> و حسین یوسفی<sup>۴</sup>

<sup>۱</sup> دانشجوی دکتری گروه علوم و صنایع غذایی، واحد ساری، دانشگاه آزاد اسلامی، ساری، ایران،

<sup>۲</sup> دانشیار گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران،

<sup>۳</sup> دانشیار گروه علوم و صنایع غذایی، واحد ساری، دانشگاه آزاد اسلامی، ساری، ایران،

<sup>۴</sup> استادیار گروه مهندسی چوب و کاغذ، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۱۰/۱۰؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۲/۲۴

### چکیده

**سابقه و هدف:** نانوفیبرهای سلولز چوب سنتز مکانیکی (MCNF)، نانوفیبرهای سلولز باکتری (BCNF) و نانوفیبر کیتین (ChNF) از جمله نانوپلی ساکاریدهایی هستند که به دلیل سازگاری زیستی، خواص ممانعتی (ممانعت از نفوذ بخار آب، اکسیژن و ...)، خواص مکانیکی بالا و هزینه کم ماده اولیه در دو دهه گذشته مورد توجه و استفاده پژوهشگران قرار گرفتند. تیمار غیرحرارتی پلازما (پلاسمای سرد)، یک روش مؤثر برای اصلاح سطوح بسیاری از مواد است. در این مطالعه تأثیر پلاسمای سرد بر روی سه نوع نانو کاغذ تهیه شده از نانوفیبر سلولز چوب سنتز مکانیکی، نانوفیبر سلولز سنتز باکتریایی و نانوفیبر کیتین مورد بررسی قرار گرفت.

**مواد و روش‌ها:** جهت بررسی اثر پلاسمای سرد بر نانو کاغذهای ذکر شده، چهار زمان مختلف ۰، ۳، ۶ و ۹ دقیقه به عنوان زمان تیمار انتخاب شد. نانوفیبر سلولز چوب، نانوفیبر سلولز باکتری و نانوفیبر کیتین به صورت ژل از شرکت نانو نوین پلیمر تهیه گردید. برای تولید نانو کاغذها از روش وکیوم فیلتراسیون استفاده شد. خواص مورفولوژیکی نانو کاغذها با استفاده از میکروسکوپ الکترونی (SEM) تعیین گردید. نفوذ بخار آب، حلالیت در آب، رنگ سطحی کاغذها، میزان شفافیت و خواص مکانیکی نانو کاغذها در این مطالعه نیز مورد بررسی قرار گرفتند.

**یافته‌ها:** عکس‌های میکروسکوپ الکترونی (SEM) نشان داد که متوسط قطری نانو کاغذهای MCNF، BCNF و ChNF به ترتیب برابر با ۳۵، ۴۸ و ۲۶ نانومتر بود. تیمار پلازما در کل سبب روشن تر شدن رنگ نمونه‌ها گردید. در اثر تیمار پلاسمای سرد، نفوذپذیری به بخار در نمونه‌های با تیمار دارای زمان‌های کم، کاهش و در تیمارهای با زمان‌های بیش تر اغلب افزایش یافت. تیمار پلاسمای سرد بر حلالیت در آب نمونه‌ها تأثیر معنی داری نداشت. بیش ترین میزان شفافیت مربوط به نمونه‌های با ۳ دقیقه تیمار پلازما بود. در مقاومت به کشش نمونه‌ها نیز تیمار پلاسمای سرد سبب افت مقاومت‌ها و کرنش گردید.

**نتیجه‌گیری:** به طور کلی در زمان‌های کم تیمار با پلاسمای سرد خواص نمونه‌ها بهبود یافت منتهی با افزایش زمان تیمار در اکثر موارد ویژگی‌های نمونه‌ها افت کردند.

**واژه‌های کلیدی:** پلاسمای سرد، نانوسلولز باکتری، نانوسلولز سنتز مکانیکی، نانو کاغذ، نانوکیتین

\* مسئول مکاتبه: [amotgan@yahoo.com](mailto:amotgan@yahoo.com)

## مقدمه

در دو دهه اخیر، استفاده از محصولات زیستی افزایش یافته است و آن را جایگزین محصولات بر پایه نفتی کرده است که می‌تواند مصرف سوخت را کاهش داده و همچنین موادی تولید کند که بر محیط زیست اثر تخریبی کم‌تری داشته باشد (۲ و ۲۷). تولید و سنتز پلیمرها با استفاده از مونومرهایی که از منابع زیستی و طبیعی به دست می‌آیند مسیر جدیدی را جهت توسعه پلیمرهای زیست‌تخریب‌پذیر از منابع تجدیدپذیر فراهم آورده است (۲۴). بیوپلیمرهایی که از پلی‌ساکاریدها به دست می‌آیند به علت مزایایی که در محیط زیست دارند و تجزیه زیستی آن‌ها، به طور گسترده‌ای مورد ارزیابی و بررسی قرار گرفته‌اند (۱۷ و ۳۱). مهم‌ترین ویژگی نانومواد، سطح ویژه بسیار بالای آن‌هاست که می‌تواند سطح واکنش‌پذیری، خواص شیمیایی و ویژگی‌های دیگر نانومواد را تعیین کند. یکی از منابع اصلی نانوالیاف سلولز (CNF)، چوب و مواد لیگنوسلولزی هستند که معمولاً پس از فرآیندهای مکانیکی، شیمیایی و یا آنزیمی، از آن‌ها به دست می‌آید (۱۳، ۱۸، ۲۲، ۲۵، ۳۴ و ۳۵). سلولز یک همپولی‌ساکارید خطی است که از واحدهای D-گلوکز با پیوندهای (1→4)  $\beta$  به یکدیگر متصل شده‌اند و توسط پیوندهای گلیکوزیدی (Cell-O-Cell) به یکدیگر متصل گشته‌اند (۱۶). نانوفیبر سلولز به طور متوسط دارای اندازه بین محدوده ۳ تا ۵۰ نانومتر است، در حالی که طول آن در حد میکرومتر قرار دارد. مواد سلولزی به طور کلی به دلیل سازگاری زیستی، شکل‌پذیری، فراوانی در طبیعت، خواص مانع‌تعی بالا و هزینه کم، به میزان فراوان مورد استفاده قرار می‌گیرند (۳، ۳۴ و ۳۵). منبع دیگر مهم نانوفیبر سلولز روش سنتز باکتری است که از طریق کشت باکتری در محیط مغذی تولید می‌گردد. کیتین دومین پلیمر طبیعی بعد از سلولز است، عمدتاً در پوسته خارجی سخت‌پوستان و علاوه

بر آن در دیواره سلولی حشرات نیز وجود دارد. این پلیمر شامل ۲-استامید-۲-دآکسی-D-گلوکز بوده و با پیوندهای (1-4)  $\beta$  به یکدیگر متصل می‌شوند. کیتین به علت عدم سمیت، زیست‌تخریب‌پذیری، زیست‌سازگاری، خواص ضد میکروبی و آنتی‌اکسیدانی، کاربرد گسترده‌ای در نساجی، پزشکی، داروسازی، غذا و کشاورزی دارد (۱۲ و ۱۵). تاکنون روش‌های مؤثر کمی برای اصلاح سطوح مواد پلیمری مورد استفاده قرار گرفته است، به عنوان مثال اشعه دهی UV، ازن‌دهی، پاسخ‌های برگشتی و روش‌های بر پایه پلاسما. در میان این روش‌ها، تیمار غیرحرارتی پلاسما (پلاسمای سرد)، یک روش مؤثر و گسترده برای اصلاح سطوح بسیاری از مواد است (۲۶). تیمار پلاسمای سرد بی‌خطر بوده و دارای آینده روشنی برای استفاده در زمینه‌های مختلف است چون سهولت در تولید و کنترل و همچنین قابلیت استفاده از آن در فشار اتمسفری، آن را به روشی مناسب تبدیل کرده است. این روش یک نوآوری عالی با کاربرد گسترده در پاک‌سازی، ضد عفونی و اصلاح سطح است. این روش به طور کلی برای تغییر خواص سطحی مواد مختلف مورد استفاده قرار می‌گیرد و این روش می‌تواند ماهیت قطبی و خواص مرطوب پلیمرهای هیدروفیل را افزایش دهد (۷ و ۹). در فشار اتمسفری، پلاسمای سرد را می‌توان با در معرض قرار دادن یک گاز یا ترکیب گازها در یک میدان الکتریکی، به دست آورد. این فن‌آوری غیرحرارتی عموماً به عنوان یک روش جهت افزایش رطوبت سطح و اتصال پلیمر بدون آسیب رساندن به ساختار آن محسوب می‌گردد. مکانیسم اصلی اصلاح توسط پلاسما می‌تواند به شرح زیر باشد: پلاسما شامل فوتون‌های اشعه ماوراءبنفش، الکترون‌ها، یون‌های مثبت و منفی، رادیکال‌های آزاد، اتم‌ها و مولکول‌های دارای انرژی و بدون انرژی است و این اجزاء دارای انرژی تقریباً یکسانی هستند تا بیش‌ترین انرژی کووالانسی با امنیت

وزنی از شرکت نانو نوین پلیمر تهیه شدند که در این مطالعه جهت اختصار به ترتیب MCNF، BCNF و ChNF نام‌گذاری می‌شوند.

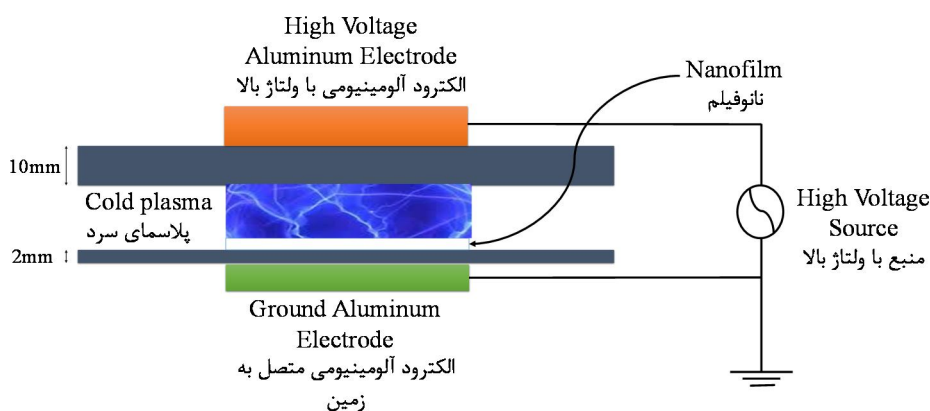
**تولید نانو کاغذ:** برای تولید نمد نانو کاغذها از روش فیلتراسیون خلأ (Vacuum filtration) استفاده گردید. گراماژ (نسبت وزن به سطح) اسمی و قطر نانو کاغذها به ترتیب برابر با  $60 \text{ gr/m}^2$  و ۱۲ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. جهت عدم عبور نانوفیبرها از توری پلی‌استر با مش ۳۵۰ استفاده شد. نمدهای ساخته شده در دمای ۹۰ درجه سانتی‌گراد آن به مدت ۸ ساعت به نانو کاغذهای خشک تبدیل شدند.

**پلاسمای سرد:** منبع تولید پلازما شامل دو ورق الکتروود دایره‌ای آلومینیومی (قطر بیرونی=۱۵۸ میلی‌متر) بود. ولتاژ اعمال شده به الکتروود از یک ترانسفورماتور Step-up تأمین شد. ولتاژ ورودی به سیم پیچ اولیه برابر با ۲۲۰ ولت و فرکانس برابر با ۵۰ هرتز بود. فاصله بین الکتروودها ۲۲ میلی‌متر تنظیم گردید. هوای ورودی در حین انجام تیمار دارای شرایطی مانند رطوبت نسبی برابر با ۵۰ درصد و دمای ۱۷ درجه سانتی‌گراد بود. نمونه‌ها در ولتاژ ۲۵ ولت و جریان ۱ آمپر و برای مدت زمان ۰، ۳، ۶ و ۹ دقیقه تحت تیمار پلاسمای سرد قرار گرفتند (۲۳).

بالا را روی سطح مواد داشته باشند از این رو می‌توان پیوندهای کووالانسی را شکست و پیوندها را به یکدیگر متصل کرد. از سوی دیگر، ذرات پلازما با انرژی بالا، سطح جامد را در طول تخلیه بار، بمباران می‌کند و به شدت مورفولوژی و میکروساختارها را در حد نانومتر تغییر می‌دهد (۷). تیمار پلاسمای سرد می‌تواند رطوبت، گروه‌های قطبی، انرژی سطحی را افزایش داده و خاصیت چاپ‌پذیری، مکانیکی و ممانعتی کاغذهای پلیمری را بهبود بخشد. از طرف دیگر، شرایط مطلوب و خاصی در کاغذهای تحت تیمار پلازما به وجود می‌آید که در برنامه‌های بسته‌بندی مطلوب است، چون از نشستی جلوگیری می‌کند، خطر آلودگی میکروبی را کاهش داده و همچنین یکپارچگی بسته‌بندی را افزایش می‌دهد (۱۴). این مطالعه با هدف بررسی و مقایسه اثرات پلاسمای سرد بر خواص فیزیکی و مکانیکی نانو کاغذهای تهیه شده از نانوفیبرهای سلولز چوب، نانوفیبرسلولز سنتز باکتری و همچنین نانوفیبرکیتین انجام شده است.

### مواد و روش‌ها

**نانوفیبر:** نانوفیبرسلولز چوب، نانوفیبرسلولز سنتز باکتریایی و نانوفیبرکیتین به صورت ژل ۲/۵ درصد



شکل ۱- شماتیک سیستم DBD پلازما.

Figure 1. Schematic view of DBD plasma system.

شده و وزن شده و سپس در محفظه دارای سیلیکاژل و همچنین دارای دما و رطوبت نسبی ثابت نگهداری شد. وزن بطری در فاصله زمانی ۲۴ ساعت به مدت ۳ روز با استفاده از ترازوی دیجیتال توزین گردید.

$$WVP (g m^{-1} Pa^{-1} s^{-1}) = (W \times X) / (A \times t \times \Delta P)$$

که در آن،  $W$  وزن بطری،  $X$  ضخامت (متر)،  $A$  مساحت کاغذ مورد آزمایش (مترمربع) و  $\Delta P$  اختلاف فشار جزئی بخار در اتمسفر به همراه سیلیکاژل و آب خالص است (۳۲).

حلالیت در آب: ۳ قطعه (۴×۱ سانتی مترمربع) از نانوکاغذ وزن شدند (۱۰۰۰±۰ گرم) و پس از آن در آون خشک در دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت قرار داده شد. بعد از این زمان کاغذها بازیابی شده و برای تعیین وزن خشک اولیه ( $w_i$ ) دوباره توزین گردید (۱۰۰۰±۰ گرم). پس از آن نمونه در ۳۰ میلی‌لیتر آب مقطر غوطه‌ور شده و سیستم حاصله به آرامی (۱۰۰ دور در دقیقه) و به مدت ۲۴ ساعت و در دمای اتاق (۲۵-۲۲ درجه سانتی‌گراد) هم زده شد. کاغذ فیلتر به همراه بخش‌هایی که حل نشده‌اند در آون (۱۰۵ درجه، ۲۴ ساعت) خشک و توزین شدند ( $w_f$ ). حلالیت کاغذ (%FS) با استفاده از رابطه زیر محاسبه شد.

$$FS\% = \frac{w_i - w_f}{w_i} \times 100$$

که در آن،  $w_i$  وزن اولیه کاغذ خشک و  $w_f$  وزن نهایی کاغذ خشک (۱۰).

شفافیت: خواص ممانعتی نانوکاغذها در برابر اشعه ماوراءبنفش (uv) و نور مرئی در طول موج ۲۰۰ تا ۸۰۰ نانومتر با استفاده از اسپکتروفوتومتر uv-1650 (ساخت کشور تایوان) انجام گرفت. نوارهای ۱۰×۴۰ میلی‌متری در یک سلول آزمون اسپکتروفوتومتر قرار

میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM): ارزیابی مورفولوژیکی بیونانوکاغذها توسط میکروسکوپ الکترونی (SEM) انجام گرفت. ابتدا نانوکاغذها در نیتروژن مایع منجمد شده و سپس شکسته شدند تا سطح مقطع شکست آن‌ها بعد از پوشش طلا عکس‌برداری شوند (۱۹).

رنگ سطحی کاغذها: اندازه‌گیری رنگ نمونه‌ها با استفاده از دستگاه رنگ‌سنج (IMG-Pardazesh, CAM-System XI easyRGB) و در مد RGB صورت می‌گیرد. داده‌های به دست آمده با استفاده از نرم‌افزار easyRGB به سیستم CIE و به پارامترهای  $L^*$ ،  $a^*$  و  $b^*$  تبدیل شدند. اختلاف رنگ کاغذها از رابطه زیر محاسبه می‌شود (۱۰):

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L)^2 + (\Delta a)^2 + (\Delta b)^2}$$

ویژگی‌های مکانیکی: یک دستگاه تست کشش مجهز به یک سلول بارگذاری ۶۰ نیوتنی برای اندازه‌گیری قدرت کشش (TS) مورد استفاده قرار گرفت. میزان کشیدگی در نقطه شکست (EAB) و مدول الاستیک (EM) مورد بررسی قرار گرفت. نوارهای ۱۱۰×۲۰ میلی‌متری از کاغذ در دمای ۲۳±۲ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۵۳±۲ درصد در محفظه قبل از آزمایش قرار داده شد. سرعت بارگذاری در ۵ میلی‌متر در دقیقه تنظیم شده و در هر نوع کاغذ حداقل ۵ تکرار وجود داشت (۱۰).

نفوذپذیری نسبت به بخار آب (WVP): نفوذپذیری نسبت به بخار آب با اندازه‌گیری اختلاف وزن و با استفاده از روش بطری مرطوب انجام گرفت. یک ظرف ۱۴ میلی‌لیتری پنی‌سیلین با ۱۰ میلی‌لیتر آب مقطر تا جایی که فاصله آن تا بالای ظرف ۱۲ میلی‌متر بوده، پر شده و با استفاده از نانوکاغذ مورد آزمایش، خوب پوشانده شد. ظرف خوب مهر و موم

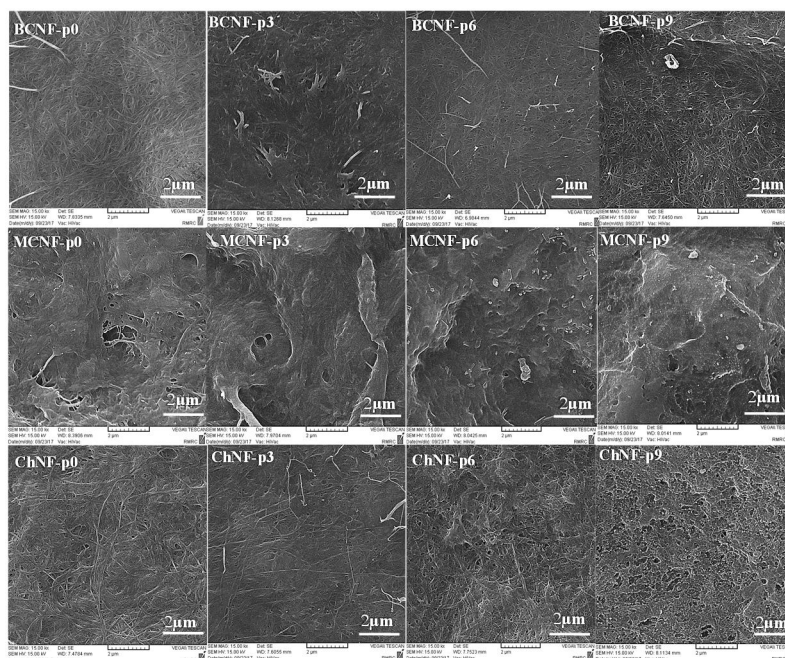
### نتایج و بحث

میکروسکوپ الکترونی (SEM): شکل ۲ تصاویر میکروسکوپ الکترونی (SEM) با بزرگ‌نمایی ۱۵۰۰۰X مربوط به نانوکاغذهای سلولز باکتریایی (BCNF)، سلولز چوب سنتز مکانیکی (MCNF) و کیتین (ChNF) است که تحت تأثیر چهار تیمار پلاسمای سرد با زمان‌های (۰، ۳، ۶ و ۹ دقیقه) قرار گرفته‌اند. BCNF و ChNF دارای ساختار یکنواخت‌تر و همگن‌تر نسبت به MCNF بودند و همچنین ساختار BCNF، یکنواختی بیشتری نسبت به ChNF داشت. میانگین قطر BCNF، MCNF و ChNF به ترتیب برابر ۳۲، ۴۵ و ۳۸ نانومتر به دست آمد. ساختار کاغذها عمدتاً با قرار گرفتن طولانی مدت در معرض پلاسمای سرد دچار تغییرات ظاهری شدند.

داده شد و یک سلول خالی آزمون به‌عنوان مرجع مورد استفاده قرار گرفت. اندازه‌گیری در ۳ تکرار و به‌طور متوسط در ۳ طیف انجام شد. شفافیت کاغذها از طریق رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$\text{Transparency} = A_{600}/x$$

که در آن،  $A_{600}$  جذب در ۶۰۰ نانومتر را نشان می‌دهد و  $x$  ضخامت نانوکاغذ را نشان می‌دهد. ارزش شفافیت بیش‌تر نشان‌دهنده شفافیت پایین است (۳۲).  
**آنالیز آماری:** در این پژوهش از طرح آماری کاملاً تصادفی استفاده شد. تجزیه و تحلیل آماری نتایج با استفاده از آنالیز واریانس ANOVA و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون حداقل میزان معنی‌داری در  $P \leq 0.05$  محاسبه گردید. برای تجزیه و تحلیل نتایج از نرم‌افزار SPSS (SPSS v 23.0 for Windows) و برای رسم نمودارها از نرم‌افزار اکسل ۲۰۱۳ استفاده شد.

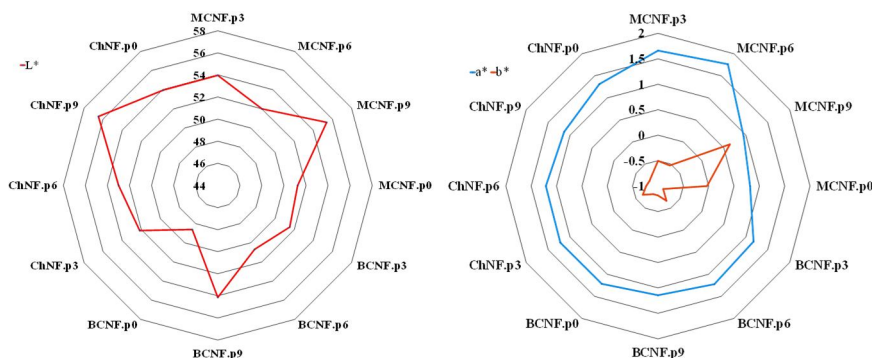


شکل ۲- تصاویر SEM (۱۵۰۰۰x) از نانوکاغذهای BCNF، MCNF و ChNF که تحت تیمارهای مختلف پلاسمای سرد با زمان (۰، ۳، ۶ و ۹ دقیقه) قرار گرفته‌اند.

Figure 2. SEM pictures (15000x) of BCNF, MCNF and ChNF treated by cold plasma at 4 times (0, 3, 6 and 9 minutes).

باکتریایی دارای کم‌ترین مقدار در پارامتر  $a^*$  است. بیش‌ترین میانگین پارامتر  $a^*$  مربوط به نانوکاغذهایی است که به مدت ۶ دقیقه تحت تأثیر پلاسمای سرد قرار گرفته‌اند. نانوکاغذهایی که به مدت ۹ دقیقه تحت تأثیر پلاسمای سرد قرار داشتند کم‌ترین مقدار میانگین پارامتر  $a^*$  را دارا بودند. پارامتر  $b^*$  شاخصی است که از مقادیر منفی برای ته رنگ آبی تا مقادیر مثبت برای ته رنگ زرد متغیر است. نانوکاغذ سلولز سنتز مکانیکی میانگین پارامتر  $b^*$  را دارد، میانگین این پارامتر در این نانوکاغذ منفی است و کم‌ترین مقدار میانگین این پارامتر را نیز نانوکاغذ سلولز باکتریایی دارد. تیمارهای پلاسمای سرد ۶ دقیقه، دارای میانگین پارامتر  $b^*$  بیشتری بودند در حالی که کم‌ترین میانگین مربوط به نانوکاغذهای با تیمار پلاسمای سرد ۰ دقیقه (شاهد) بود. افزایش زردی در رنگ نانوکاغذها نتیجه فرآیند اکسیداسیون ماتریکس پلیمری توسط رادیکال اکسیژن است. چون پلاسمای سرد، الکترون‌های پرانرژی تولید می‌کند که مولکول‌های اکسیژن را جدا کرده و آنها را به رادیکال‌های فعال تبدیل می‌کند (۲۸).

اندازه‌گیری رنگ سطحی نانوکاغذها: رنگ و شفافیت کاغذهای مورد استفاده در بسته‌بندی نقش مهمی در ظاهر و در نتیجه رضایت مصرف‌کنندگان دارند. پارامتر  $L^*$  میزان روشنی یا تیره بودن را نشان می‌دهد. نانوکاغذهای کیتین دارای مقدار میانگین پارامتر  $L^*$  بالاتری نسبت به سایر نانوکاغذها است و همچنین رنگ روشن‌تری نسبت به سایر نانوکاغذها داشتند. روشنایی نانوکاغذ سلولز سنتز باکتریایی کم‌تر از ۲ نوع نانوکاغذ دیگر بود. نوع نانوفیبرهای مورد استفاده در نانوکاغذها روی روشنی یا تیرگی آنها مؤثر بود. نانوکاغذهایی که ۹ دقیقه تحت پلاسمای سرد قرار گرفته‌اند، دارای بیش‌ترین میانگین پارامتر  $L^*$  در بین سایر نانوکاغذها هستند و نمونه‌های شاهد دارای مقدار میانگین کم‌تری هستند. هرچه کاغذها بیش‌تر تحت تأثیر پلاسمای سرد قرار گیرد، رنگ آن روشن‌تر می‌شود. متغیر  $a^*$  شاخصی است که مقادیر آن از منفی برای ته‌رنگ سبز تا مثبت برای ته‌رنگ سرخ متغیر است. نانوکاغذ سلولز چوب سنتز مکانیکی دارای بیش‌ترین میانگین پارامتر  $a^*$  در سیستم رنگ‌سنجی است در حالی که در سایر نانوکاغذها این متغیر کاهش یافته است. نانوکاغذهای سلولز سنتز

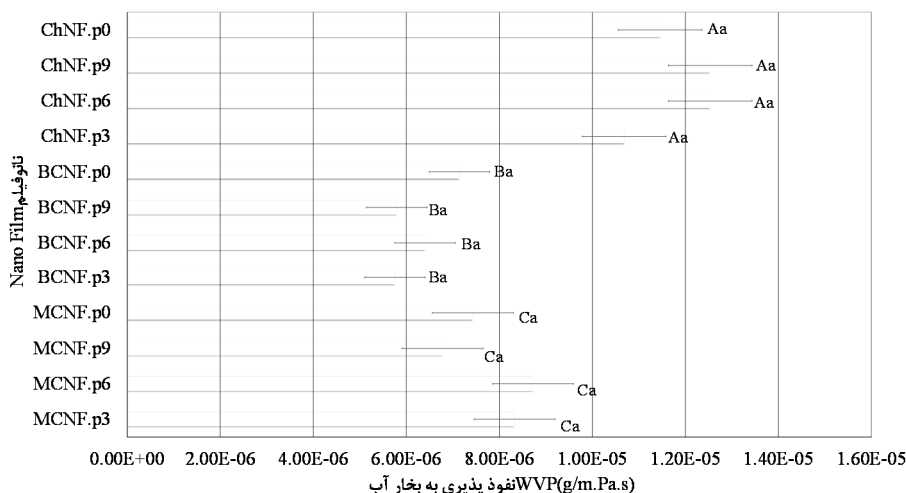


شکل ۳- تأثیر نوع نانوفیبر و تکنولوژی پلاسمای سرد بر فاکتورهای  $L^*$ ،  $a^*$  و  $b^*$ .

Figure 3. Effect of nano-fiber type and cold plasma on nano-films color factor ( $L^*$   $a^*$   $b^*$ ).

پلاسمای سرد بودند و بیش‌ترین نفوذ بخار آب نیز در نانوکاغذهایی مشاهده می‌شود که ۶ دقیقه تحت تیمار پلاسمای سرد قرار گرفته‌اند، پس می‌توان نتیجه گرفت که در ابتدا زمانی که نانوکاغذها تحت تیمار پلاسمای سرد قرار می‌گیرند نفوذپذیری آن‌ها نسبت به بخار آب کاهش می‌یابد اما هرچه بیشتر تحت تکنولوژی پلاسمای سرد قرار می‌گیرد به نفوذپذیری نسبت به بخار آب در نانوکاغذها افزوده می‌شود. هنگامی که نانوکاغذها مدت‌زمان بیش‌تری در معرض پلاسمای سرد قرار می‌گیرند، ساختار شیمیایی سطح آن‌ها تغییر می‌کند (۲۸). تیمار پلاسمای سرد قطبیت سطح نانوکاغذهای سلولز را با واکنش اکسیداسیون که منجر به تشکیل گروه‌های قطبی می‌شود، افزایش می‌دهد که باعث بهبود نگهداری آب و افزایش خاصیت آبدوستی آن می‌شود (۱).

نفوذپذیری به بخار آب (WVP): فیلم‌ها و پوشش‌ها از این جهت برای بسته‌بندی مواد غذایی مورد استفاده قرار می‌گیرند که مانع تبادل رطوبت بین مواد غذا و محیط شوند. اندازه‌گیری نفوذپذیری نسبت به بخار آب (WVP) جهت بررسی خواص ممانعتی کاغذهای بسته‌بندی نسبت به بخار آب مورد استفاده قرار می‌گیرد (۱۲). میزان نفوذ بخار آب نانوکاغذها به میزان تخلخل نانوکاغذ و همچنین میزان پراکنندگی خلل و فرج در محیط بستگی دارد (۷). شکل ۴ میزان نفوذ بخار آب در سه نوع نانوکاغذ همراه با تیمارهای مختلف پلاسمای سرد را نشان می‌دهد. به‌خاطر آبدوست بودن، خصوصیات ممانعتی نسبت به بخار آب در نانوفیبرهای سلولز کم است (۷). نفوذپذیری کاغذها تحت‌تأثیر ساختار، شکل‌شناسی و همگنی ماده زمینه‌ای قرار دارد (۱۰). کم‌ترین نفوذپذیری نسبت به بخار آب در نمونه‌هایی وجود دارد که ۳ دقیقه تحت



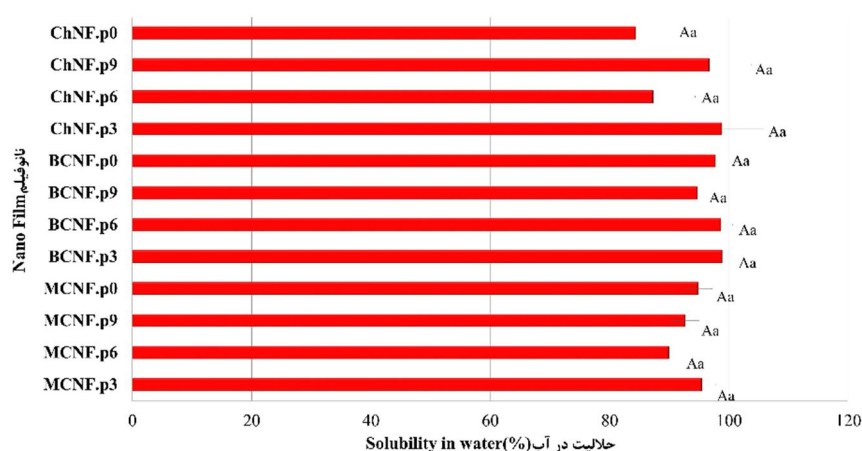
شکل ۴- تأثیر نوع نانوفیبرها و تیمار پلاسمای سرد بر نفوذپذیری به بخار آب (WVP).

وجود حروف مختلف در شکل وجود اختلاف معنی‌داری را در نوع نانوفیبر (A, B, C,...) و تیمار پلاسمای سرد ( $P \leq 0.05$ ) (a, b, c,...) را نشان می‌دهد.

Figure 4. Effect of nanofiber type and cold plasma treatments on WVP. The different letters on each bar have a significant difference in the type of nanogel ( $P \leq 0.05$ ) (A, B, C,...) and cold plasma treatment ( $P \leq 0.05$ ) (a, b, c ...).

بیش‌ترین میزان کاهش وزن در نانوکاغذهای سلولز سنتز باکتریایی مشاهده شد و کم‌ترین میزان حل شدن در آب نیز در نانوکاغذ کیتین مشاهده شد. بیش‌ترین میزان حلالیت در آب مربوط به نانوکاغذ تیمارهایی بود که ۳ دقیقه تحت پلاسمای سرد بودند. کم‌ترین میزان حلالیت مربوط به نانوکاغذهایی بود که ۶ دقیقه تحت پلاسمای سرد قرار گرفته بود.

حلالیت در آب: حلالیت در آب به‌عنوان یک شاخص برای ارزیابی مقاومت کاغذ نسبت به آب در نظر گرفته شده است (۱۲). حلالیت یک ویژگی مهم از کاغذها است چون آن‌ها به‌عنوان یک لایه دفاعی بر روی غذا مورد استفاده قرار می‌گیرند. بسیاری از فرآیندها شاید به عدم حل شدن در آب برای کسب اطمینان از سلامت محصول و مقاومت به آب نیاز داشته باشد (۵ و ۱۰). شکل ۵ نشان می‌دهد که



شکل ۵- تأثیر نوع نانوفیبرها و تیمار پلاسمای سرد روی حلالیت در آب.

وجود حروف مختلف در شکل وجود اختلاف معنی‌داری را در نوع نانوفیبرها (A, B, C,...) ( $P \leq 0.05$ ) و تیمار پلاسمای سرد (a, b, c,...) ( $P \leq 0.05$ ) را نشان می‌دهد.

**Figure 5. Effect of nanofiber type and cold plasma treatment on solubility in water.**  
The different letters on each bar have a significant difference in the type of nanogel ( $P \leq 0.05$ ) (A, B, C ...) and cold plasma treatment ( $P \leq 0.05$ ) (a, b, c ...).

نزدیک به هم بودند. بیش‌ترین میانگین پارامتر شفافیت مربوط به نانوکاغذهای با تیمار پلاسمای سرد ۳ دقیقه بود. کم‌ترین میانگین پارامتر شفافیت در نانوکاغذهای با تیمار پلاسمای ۰ دقیقه (شاهد) مشاهده شد. نانوکاغذهایی که مدت‌زمان کمی تحت تیمار پلاسمای سرد قرار گرفته بودند نسبت به نانوکاغذهایی که مدت‌زمان بیش‌تری را تحت تیمار پلاسمای سرد قرار گرفتند، شفاف‌تر بودند.

شفافیت: شفافیت فیلم‌ها به‌دلیل این‌که می‌تواند با عبور نور بر کیفیت مواد غذایی تأثیر بگذارد و یا این‌که امکان مشاهده محتوی بسته‌بندی از بیرون آن بدون باز کردن بسته ایجاد کند، می‌تواند سودمند باشد (۱۰). نانوکاغذهای سلولز باکتریایی دارای بیش‌ترین میانگین شفافیت در بین نانوکاغذها بود که احتمالاً به‌دلیل یکنواختی بیش‌تر در اندازه نانوفیبرهای آن بود. شفافیت نانوکاغذهای سلولز سنتز مکانیکی و نانوکاغذهای کیتین دارای میانگین تقریباً برابر و



جدول ۱- نتایج مربوط به تأثیر نوع نانوفیبر و تیمار پلاسمای سرد بر پارامتر شفافیت بر نانوکاغذهای سلولز سنتز مکانیکی و باکتری و نانوکاغذ کیتین.

**Table 1. Results of nanofiber type and cold plasma treatments effect on transparency parameter of bacterial/mechanical cellulose and chitin nano-films.**

| شاخص /0 min                  | ۹/9 دقیقه                    | ۶/6 دقیقه                    | ۳/3 دقیقه                    | پلازما Plasma<br>نانوکاغذ Nanofilm | متغیر<br>parameter     |
|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------------|------------------------|
| 14.371 ± 0.549 <sup>Aa</sup> | 13.52 ± 0.549 <sup>Aa</sup>  | 14.375 ± 0.549 <sup>Aa</sup> | 13.325 ± 0.549 <sup>Aa</sup> | سلولز سنتز مکانیکی                 | شفافیت<br>Transparency |
| 14.486 ± 2.571 <sup>Bb</sup> | 17.133 ± 2.571 <sup>Bb</sup> | 17.509 ± 2.571 <sup>Bb</sup> | 30.76 ± 2.571 <sup>Bb</sup>  | سلولز سنتز باکتری                  |                        |
| 11.857 ± 1.424 <sup>Ac</sup> | 13.8 ± 1.424 <sup>Ac</sup>   | 11.507 ± 1.424 <sup>Ac</sup> | 14.4 ± 1.424 <sup>Ac</sup>   | کیتین                              |                        |

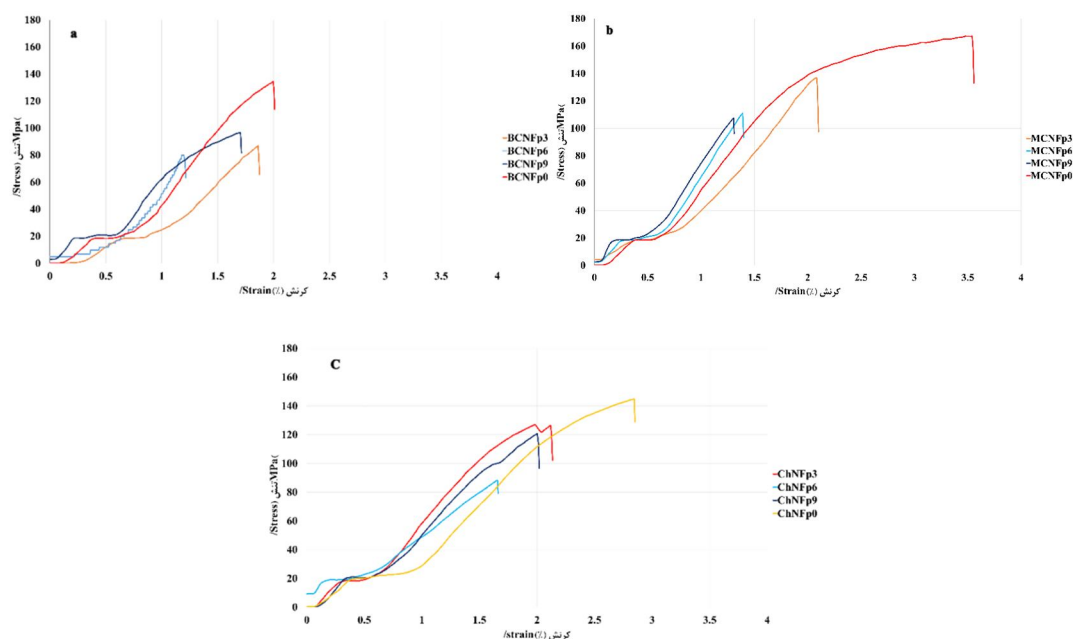
(۱) همه اعداد بر حسب درصد بیان شده است (میانگین ± انحراف از معیار).

(۲) اعداد در هر ستون مربوط به هر متغیر با حروف متفاوت اختلاف معنی‌دار دارند (A, B, C, ...). (P < ۰/۰۵).

(۳) اعداد در هر سطر با حروف متفاوت اختلاف معنی‌دار دارند (a, b, c, ...). (P < ۰/۰۵).

قرار گرفت از میزان مقاومت آن در برابر پاره شدن، کاسته شد. شکل ۸ نشان می‌دهد که نمونه نانوکاغذ کیتین که در معرض پلازما قرار نگرفته است (ChNFp0) دارای بیش‌ترین مقدار تنش قابل تحمل (حدود ۱۴۵ مگاپاسکال) و همچنین بیش‌ترین کرنش (حدود ۲/۸ درصد) در بین سایر نمونه نانوکاغذ کیتین را دارا بود. در مقایسه بین سه نوع نانوکاغذ می‌توان دریافت نانوکاغذ سلولز چوب سنتز مکانیکی بیش‌ترین مقدار تنش و کرنش را دارا بود و نانوکاغذ سلولز سنتز باکتری دارای کم‌ترین مقدار بود. زمانی که نانوکاغذها تحت تیمار پلاسمای سرد قرار گیرند از استحکام و قدرت تحمل نیروی آن‌ها کاسته می‌شود. نانوکاغذهایی که تحت پلاسمای سرد قرار گرفتند دارای میانگین نیروی قابل تحمل تقریباً برابری از نظر آماری بودند. در مورد کرنش نیز می‌توان گفت که در نانوکاغذهایی که تحت تیمار پلازما قرار نگرفته‌اند (شاهد)، بیش‌ترین مقدار کرنش مشاهده شد و پس از آن نانوکاغذهای با تیمار پلاسمای سرد ۳ دقیقه قرار داشتند. زمانی که نانوکاغذها تحت پلاسمای سرد قرار می‌گیرند از مقاومت آن‌ها در برابر کشش کاسته می‌شود که به این دلیل در نانوکاغذهای با تیمار پلاسمای سرد ۶ و ۹ دقیقه، کم‌ترین مقدار کرنش مشاهده شد.

**آزمون کشش:** شکل ۶ نمودارهای تنش-کرنش نمونه‌ها را نشان می‌دهد. در تمام موارد نمونه‌هایی که در معرض پلاسمای سرد قرار نگرفتند بهترین ویژگی‌های مکانیکی را نشان دادند. شکل ۸a نشان می‌دهد که نمونه نانوکاغذ سلولز سنتز باکتری که در معرض پلاسمای سرد قرار نگرفته است (BCNFp0)، بیش‌ترین تنش را در بین تیمارهای این نانوکاغذ تحمل می‌کند (حدود ۱۳۶ مگاپاسکال) و همچنین کرنش بیش‌تری نیز در آن رخ می‌دهد (حدود ۲ درصد). در حالی که نمونه‌های نانوکاغذ که به مدت ۶ دقیقه در معرض پلاسمای سرد قرار گرفته‌اند (BCNFp6) دارای کم‌ترین مقدار تنش و کرنش بودند و بافت آن‌ها در مقدار تنش حدود ۸۰ مگاپاسکال و کرنش حدود ۱/۲ درصد گسسته شده و نمونه پاره می‌شود. شکل ۸b نشان‌دهنده این موضوع هست که نمونه‌های نانوکاغذ سلولز چوب سنتز مکانیکی که در معرض پلاسمای سرد قرار نگرفته است (MCNFp0)، بیش‌ترین مقدار تنش (حدود ۱۶۸ مگاپاسکال) را تحمل کرده و در مقابل، دارای کرنش بالاتری (حدود ۳/۶ درصد) نیز می‌باشد؛ بدین معنی که برای پاره کردن بافت این نمونه نانوکاغذ نیاز به تنش بالاتری است و زمانی که نانوکاغذ در معرض پلاسمای سرد



شکل ۶- نمودارهای تنش و کرنش نانوکاغذهای (a) سلولز باکتری (b) سلولز چوب (سنتز مکانیکی) و (c) کیتین با تیمارهای مختلف پلاسمای سرد.

Figure 6. The stress to strain graphs Of, a) bacterial cellulose (BCNF), b) wood (mechanical synthesized) cellulose (MCNF) and c) chitin (ChNF) nano-films with different cold plasma treatments.

بهتری بودند. اعمال تیمار پلاسمای سرد اتمسفری منجر به افزایش مقاومت به نفوذ بخار آب و تولید ترکیبات قطبی می‌شود و همچنین باعث به وجود آمدن اتصالات عرضی در سطح کاغذ می‌شود. در کل اعمال پلاسمای سرد باعث بهبود برخی از پارامترهای نانوکاغذ به‌ویژه در مدت‌زمان‌های کم گردید. بسیاری از نتایجی که در اثر اعمال تیمار پلاسمای سرد حاصل شد در مقالات دیگر نیز گزارش گردید (۱ و ۲۸).

### نتیجه‌گیری کلی

در این مقاله به بررسی اثر پلاسمای سرد بر نانوکاغذهای تولیدشده از سه نوع نانوفیبر سلولز چوب، سلولز باکتریایی و کیتین پرداخته شد. پلاسمای سرد می‌تواند حلالیت کاغذها در آب را کاهش دهد. زمانی‌که نانوکاغذ برای مدت کوتاهی در معرض پلاسمای قرار گرفت شفافیت آن افزایش یافت ولی در زمان‌های بیشتر تیمار پلاسمای سرد، از شفافیت نانوکاغذ کاسته شد. کاغذهای با تیمار پلاسمای ۰ دقیقه (شاهد)، دارای مقاومت مکانیکی

### منابع

1. Bigan, M., and Mutel, B. 2018. Cold remote plasma modification of wood: Optimization process using experimental design. Applied Surface Science. 453: 423-435.
2. Bozel, J.J., and Patel, M.K. 2006. Feedstocks for the future, chemicals and materials. Renewables for the production of chemicals and materials. American Chemical Society Symposium Series 921, Washington, DC.
3. Brinchi, L., Cotana, F., Fortunati, E., and Kenny, J.M. 2013. Production of nanocrystalline cellulose from lignocellulosic biomass: Technology and applications. Carbohydrate Polymers. 94: 154-169.

4. Davarpanah, Z., Keramat, J., Hamdami, N., Shahedi, M., and Behzad, T. 2015. Mechanical, barrier and thermal properties of zein, montmorillonite nanocomposite. *J. of Agricultural Engineering Research*. 16: 3. 79-92.
5. De Moura, M.R., Lorevice, M.V., Mattoso, L.H., and Zucolotto, V. 2011. Highly stable, edible cellulose films incorporating chitosan nanoparticles. *J. of Food Science*. 76: 2. 25-9.
6. Dogan, N., and Mchugh, T. 2007. Effects of microcrystalline cellulose on functional properties of hydroxy propyl methyl cellulose microcomposite films. *J. of Food Science*. 72: 1. 16-22.
7. Dong, S., Guo, P., Chen, Y., Chen, G., Ji, H., Ran, Y., Li, S., and Chen, Y. 2018. Surface modification via atmospheric cold plasma (ACP): Improved functional properties and characterization of zein film. *Industrial Crops and Products*. 115: 124-133.
8. Habibi, Y., Lucia, L.A., and Rojas, O.J. 2010. Cellulose nanocrystals: chemistry, self assembly and applications. *Chemical Reviews*. 110: 6. 3479-3500.
9. Honarvar, Z., Farhoodi, M., Rezakhani, M., Mohammadi, A., Shokri, B., Ferdowsi, R., and Shojaee-Aliabadi, S. 2017. Application of cold plasma to develop carboxymethyl cellulose-coated polypropylene films containing essential oil. *Carbohydrate polymers*. 176: 15. 1-10.
10. Hosseini, S.H., Rezaei, M., Zandi, M. and Farahmandghavi, F. 2015. Fabrication of bio nanocomposite films based on fish gelatin reinforced with chitosan nanoparticles. *Food Hydrocolloids*. 44: 172-182.
11. Hubbe, M.A., Rojas, O.J., Lucia, L.A. and Sain, M. 2008. Cellulosic nanocomposites: a review. *Bioresource Technology*. 3: 929-980.
12. Jafari, H., Pirouzifard, M.Kh., Alizadeh Khaledabad, M., and Almasi, H. 2016. Effect of chitin nanofiber on the morphological and physical properties of chitosan/ silver nanoparticle bionanocomposite films. *International J. of Biological Macromolecules*. 92: 461-466.
13. Kanmani, P., Aravind, J., Kamaraj, M., Sureshbabu, P., and Karthikeyan, S. 2017. Environmental applications of chitosan and cellulosic biopolymers: A comprehensive outlook. *Bioresource Technology*. 242: 295-303.
14. Karam, L., Casetta, M., Chihib, N.E., Bentiss, F., Maschke, U., and Jama, C. 2016. Optimization of cold nitrogen plasma surface modification process for setting up antimicrobial low density polyethylene films. *J. of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*. 64: 299-305.
15. Kaya, M., Salaberria, A.M., Mujtaba, M., Labidi, J., Baran, T., Mulercikas, P., and Dumane, F. 2017. An inclusive physicochemical comparison of natural and synthetic chitin films. *International J. of Biological Macromolecules*. 106: 1062-1070.
16. Klemm, D., Heublein, B., Fink, H.P., and Bohn, A. 2005. Cellulose: fascinating biopolymer and sustainable raw material. *J. of Polymer Science*. 44: 22. 3358-3393.
17. Kumar, A.P., and Singh, R.P. 2008. Biocomposites of cellulose reinforced starch: improvement of properties by photo-induced cross linking. *Bioresource Technology*. 99: 18. 8803-8809.
18. Lu, Z., Fan, L., Zheng, H., Lu, Q., Liao, Y., and Huang, B. 2013. Preparation, characterization and optimization of nanocellulose whiskers by simultaneously ultrasonic wave and microwave assisted. *Bioresource Technology*. 146: 82-88.
19. Ma, X., Wang, R.M., Guan, F.M., and Wang, T.F. 2010. Artificial dura mater made from bacterial cellulose and polyvinyl alcohol CN Patent ZL200710015537.
20. Nie, S., Wang, S., Qin, C., Yao, S., Ebonka, J.F., and Song, X. 2015. Removal of hexenuronic acid by xylanase to reduce absorbable organic halides formation in chlorine dioxide bleaching of bagasse pulp. *Bioresource Technology*. 196: 413-417.

21. Nie, S., Liu, X., Wu, Z., Zhan, L., Yin, G., and Yao, S. 2014. Kinetics study of oxidation of the lignin model compounds by chlorine dioxide. *Chemical Engineering J.* 241: 1. 410-417.
22. Nie, S., Zhang, K., Lin, X., Zhang, Ch., Yan, D., Liang, H., and Wang, Sh. 2018. Enzymatic pretreatment for the improvement of dispersion and film properties of cellulose nanofibrils. *Carbohydrate Polymers.* 181: 1136-1142.
23. Pankaj, S.K., Bueno-Ferrer, C., Misra, N.N., O'Neill, L., Tiwari, B.K., Bourke, P., and Cullen, P.J. 2015. Characterization of dielectric barrier discharge atmospheric air cold plasma treated gelatin films. *Food Packaging and Shelf Life.* 6: 61-67.
24. Pappu, A., Patil, V., Jain, S., Mahindrakar, A., Haque, R., and Thakur, V.K. 2015. Advances in industrial prospective of cellulosic macromolecules enriched banana biofibre resources: a review. *International J. of Biological Macromolecules.* 79: 449-458.
25. Penttila, P.A., Varnai, A., Pere, J., Tammelin, T., Salmen, L., and Siika-aho, M. 2013. Xylan as limiting factor in enzymatic hydrolysis of nanocellulose. *Bioresource Technology.* 129: 135-141.
26. Ramkumar, M.C., Pandiyaraj, K.N., ArunKumar, A., Padmanabhan, P.V.A., UdayKumar, S., Gopinath, P., Bendavid, A., Cools, P., Geyter, N.De., Morent, R., and Deshmukh, R.R. 2018. Evaluation of mechanism of cold atmospheric pressure plasma assisted polymerization of acrylic acid on low density polyethylene (LDPE) film surfaces: Influence of various gaseous plasma pretreatment. *Applied Surface Science.* 439: 991-998.
27. Raquez, J.M., Deléglise, M., Lacrampe, M.F., and Krawczak, P. 2010. Thermosetting (bio) materials derived from renewable resources: a critical review. *Progress in Polymer Science.* 35: 4. 487-509.
28. Romani, V.P., Olsen, B., Collares, M. P., Oliveira, J.R.M., Hernández, C.P., and Martins, V.G. 2018. Improvement of fish protein films properties for food packaging through glow discharge plasma application. *Food Hydrocolloids.* 87: 970-976.
29. Saska, S., Barud, H.S., Gaspar, A.M.M., Marchetto, R., Ribeiro, S.J.L. and Messaddeq, Y. 2011. Bacterial cellulose-hydroxyapatite nanocomposites for bone regeneration. *International J. of Biomaterials.* 2011: 1-8.
30. Song, X., Jiang, Y., Rong, X., Wei, W., Wang, S., and Nie, S. 2016. Surface characterization and chemical analysis of bamboo substrates pretreated by alkali hydrogen peroxide. *Bioresource Technology.* 216: 1098-1101.
31. Teixeira, E.M., Pasquini, D., Curvelo, A.S.S., Corradini, E., Belgacem, M.N., and Dufresne, A. 2009. Cassava bagasse cellulose nanofibrils reinforced thermoplastic cassava starch. *Carbohydrate Polymers.* 78: 422-31.
32. Wu, J., Sun, X., Guo, X., Ge, S., and Zhang, Q. 2017. Physicochemical properties, antimicrobial activity and oil release of fish gelatin films incorporated with cinnamon essential oil. *Aquaculture and Fisheries Management.* 2: 4. 185-192.
33. Yuan, F., Zhang, J., Jiang, A., Lu, W., Wang, Y., Geng, H., Wang, J., and Qin, M. 2015. Fabrication of cellulose self-assemblies and high-strength ordered cellulose films. *Carbohydrate Polymers.* 117: 414-420.
34. Yousefi, H., Azad, S., Mashkour, M., and Khazaeian, A. 2018. Cellulose nanofiber board. *Carbohydrate polymers.* 187: 133-139.
35. Yousefi, H., Azari, V., and Khazaeian, A. 2018. Direct mechanical production of wood nanofibers from raw wood micro particles with no chemical treatment. *Industrial crops and products.* 115: 26-31.



Gorgan University of Agricultural  
Sciences and Natural Resources

*J. of Wood & Forest Science and Technology*, Vol. 26 (3), 2019

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

DOI: 10.22069/jwfst.2019.16086.1793

## Effect of cold plasma on the physical and mechanical properties of nanopapers prepared with cellulose and chitin nanofibers

H. Jannatamani<sup>1</sup>, \*A. Motamedzadegan<sup>2</sup>, M. Farsi<sup>3</sup> and H. Yousefi<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Ph.D. Student, Dept. of Food Science and Technology Management, Sari Branch, Islamic Azad University, Sari, Iran,

<sup>2</sup>Associate Prof., Dept. of Food Science and Technology, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran,

<sup>3</sup>Associate Prof., Dept. of Food Science and Technology Management, Sari Branch, Islamic Azad University, Sari, Iran,

<sup>4</sup>Assistant Prof., Dept. of Wood and Paper Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran

Received: 12.31.2018; Accepted: 05.14.2019

### Abstract

**Background and Objectives:** Mechanically isolated cellulose nanofibers (MCNF), bacterial cellulose nano-fibers (BCNF) and chitin nanofibers (ChNF), as nano-polysaccharides, have attracted much attention of researchers during two past decades due to biocompatibility, good barrier (barrier properties against water vapor, oxygen, and etc.), high mechanical properties as well as low cost of their raw materials. Non-thermal plasma treatment (cold plasma) is an effective way to modify the surfaces of a wide variety of materials. In this study, the effect of cold plasma on the physical and mechanical properties of three types of nano-papers prepared with MCNF, BCNF and ChNF were studied.

**Materials and Methods:** To study the effect of cold plasma on mentioned nano-papers, four plasma treatment times of 0, 3, 6, and 9 minutes have been selected as variables. WCNF, BCNF and ChNF in gel form were prepared from Nano Novin Polymer Co. (Iran). To produce nano-paper from different nano-fibers, vacuum filtration method was used. Morphological properties of nano-paper were determined by scanning electron microscopy (SEM). Water vapor permeability (WVP), solubility in water, surface color of papers, transparency and the mechanical properties of fabricated nano-papers were investigated.

**Results:** Scanning electron microscope (SEM) images showed that the average diameter of MCNF, BCNF, and ChNF nano-papers were 35, 48, and 26 nm, respectively. Plasma treatment increased the whiteness of specimens. As the result of plasma treatment, WVP decreased at lower treatment time (3 min), while this property increased within treatment time over 3 min. Plasma did not have considerable effect of water solubility of specimens. The specimens treated with 3 min showed the highest transparency. All treated specimens showed less mechanical properties compared to the control one.

**Conclusion:** In general, plasma could improve the properties of nano-papers at lower treatment time while longer treatment times had negative effect on specimens' characteristics.

**Keywords:** Cold plasma, Bacterial cellulose nano-fibers, Mechanically isolated cellulose nano-fibers, Nano-paper, Chitin nano-fibers

---

\*Corresponding author: [amotgan@yahoo.com](mailto:amotgan@yahoo.com)

*Arci*