



دانشگاه گیلان، مراکز علمی

نشریه پژوهش‌های علوم و فناوری چوب و جنگل

جلد بیستم و یکم، شماره اول، ۱۳۹۳

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

تولید نانو کاغذ از نانوالیاف سلولز تهیه شده از خمیر شیمیایی سودای باگاس:

تأثیر متغیرهای فرآیندی: پیش تیمار و تعداد مراحل عبور

*سیدرحمان جعفری پطرودی^۱، علی قاسمیان^۲ و حسین رسالتی^۳

^۱استادیار گروه فناوری تولید سلولز و کاغذ، دانشکده مهندسی انرژی و فناوری‌های نوین، پردیس علمی و تحقیقاتی

زیرآب، دانشگاه شهید بهشتی، آدانشیار گروه صنایع خمیر کاغذ، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان،

^۲استاد گروه صنایع خمیر کاغذ، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

تاریخ دریافت: ۹۱/۱۱/۱۳؛ تاریخ پذیرش: ۹۳/۴/۲۳

چکیده

هدف اصلی این پژوهش، بررسی قابلیت‌های خمیر شیمیایی سودای باگاس به‌عنوان ماده اولیه برای تولید نانوالیاف سلولز است. برای نیل به این مقصود، کیفیت‌های مختلف نانوالیاف سلولز باگاس به روش همگن ساز تولید شد. نانو الیاف سلولز باگاس هم به‌صورت روش کاملاً مکانیکی و هم به روش آنزیمی (تیمار با آنزیم اندوگلوکاناز) تواما با روش مکانیکی تهیه گردید. تأثیر تعداد مراحل عبور از همگن ساز (سه و پنج بار) هم برای خمیرهای بدون تیمار و هم با تیمار آنزیمی بر روی ویژگی‌های نانوالیاف و نیز نانو کاغذ ساخته شده به‌عنوان متغیرهای فرآیندی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج به‌دست آمده نشان داد که با افزایش تعداد مراحل عبور، گرانروی و درجه بسپارش نانو الیاف سلولز باگاس کاهش می‌یابد. برای تهیه نانو کاغذ از روش قالب‌گیری سوسپانسیونی استفاده شد. مقاومت کششی نانو کاغذ با افزایش تعداد مراحل عبور از سه مرحله به پنج مرحله افزایش قابل توجهی داشت و نانو کاغذ تهیه شده از خمیر تیمار شده با آنزیم و پنج مرحله عبور از همگن ساز دارای بیشترین شاخص مقاومت کششی بوده و کمترین شاخص مقاومت به پاره شدن نیز در نانو کاغذ تهیه شده از خمیر بدون تیمار و با سه مرحله عبور از همگن ساز بوده است که دلیل این موضوع به‌میزان فیبرله شدن بیشتر الیاف خمیر در هنگام عبور از همگن ساز مرتبط است.

واژه‌های کلیدی: خمیر شیمیایی سودای باگاس، نانوالیاف سلولز، همگن ساز، قالب‌گیری سوسپانسیونی، گرانروی، درجه بسپارش

*مسئول مکاتبه: sr_jafari@sbu.ac.ir

مقدمه

در طول چند سال اخیر نانو الیاف سلولز^۱ به‌عنوان ماده اولیه بسیار مهم برای استفاده در چند سازه‌های طبیعی و دوستدار محیط زیست مطرح شده است. دلیل اصلی این موضوع به فوایدی شامل هزینه تولید کمتر در مقایسه با سایر نانومواد سنتزی، فراوانی و سهولت تهیه، قابلیت تخریب‌پذیری و تجدیدپذیری بر می‌گردد (جعفری پطرودی و قاسمیان، ۲۰۱۰، تورباک و همکاران، ۱۹۸۳ و سیرو و پلاکت، ۲۰۱۰). از مدت‌ها قبل، چوب به‌عنوان مهم‌ترین ماده صنعتی برای تولید الیاف سلولزی مطرح بوده است (سیرو و پلاکت، ۲۰۱۰). اما در کشورهای فاقد منابع چوبی کافی از بعضی الیاف صنعتی نظیر: کنف، شاه‌دانه و ضایعات کشاورزی شامل: کاه گندم، کلش برنج و باگاس به‌عنوان ماده اولیه برای تولید خمیر کاغذ استفاده می‌کنند (حسن و همکاران، ۲۰۱۱). در حال حاضر این مواد اولیه دارای جایگاه ویژه‌ای برای تولید الیاف سلولزی هستند. در کشور ما هم مقادیر بسیار زیادی از این مواد اولیه به‌خصوص باگاس به‌عنوان ضایعات حاصل از کارخانجات تهیه شکر در جنوب تولید شده و قسمت اعظم آن به‌عنوان سوخت مورد استفاده قرار می‌گیرد. میزان این ضایعات بر اساس منابع موجود، به میزان پانصد هزار تن در سال برآورد می‌شود (جعفری پطرودی و همکاران، ۲۰۱۲). از آن‌جا که لیگنین‌زدایی، رنگ‌بری، پالایش خمیرهای تولید شده از باگاس به مراتب راحت‌تر از خمیر چوب بوده و دارای هزینه بسیار کم می‌باشد (جعفری پطرودی و همکاران، ۲۰۱۲؛ حسن و همکاران، ۲۰۱۰). تمرکز بر روی این مواد به‌عنوان ماده اولیه می‌تواند چالش تجاری‌سازی نانومواد طبیعی نظیر نانوالیاف سلولز را هموارتر سازد (سیرو و پلاکت، ۲۰۱۰). همچنین میزان مصرف انرژی کمتر این مواد در قسمت نانوفیبریل شدن به‌عنوان موضوع بسیار مهم قابل تأکید است. تولید نانوالیاف سلولز، چندسازه تمام سلولزی از چوب و ضایعات کشاورزی دارای سابقه خیلی طولانی در کشور ما نیست. مطالعات بسیار زیادی در خصوص تولید فیلم و نانو کاغذ از سلولز میکروفیبریل شده، نانوسلولز و سلولز نانوفیبریل شده چوب و مواد چوبی انجام شده است (سیرو و پلاکت، ۲۰۱۰). در حال حاضر واژه‌های بسیار زیادی برای الیاف نانو سلولز به‌کار می‌رود. اگر الیاف سلولزی تبدیل شده در روش‌های ذکر شده دارای قطر کمتر از ۱۰۰ نانومتر باشد، اطلاق سلولز نانوفیبریل شده یا نانوسلولز کاملاً مناسب است اما در عمل در روش‌های معمول، علاوه بر تولید الیاف سلولزی در ابعاد نانو (میکروفیبریل)،

1- Cellulose Nanofiber (CNF)

درصد بسیار کمی نیز دستجات میکروفیبریلی در ابعاد بیشتر از ۱۰۰ نانومتر مشاهده می‌شود (چینگا-کاراسکو، ۲۰۱۱). بنابراین اطلاق واژه میکروفیبریله شده هم در برگزیده الیاف سلولزی (میکروفیبریل)، در ابعاد نانو بوده و هم شامل دستجات میکروفیبریلی در ابعاد بیشتر از ۱۰۰ نانومتر می‌باشد (چینگا-کاراسکو، ۲۰۱۱). این تعریف برای اولین بار در سال ۱۹۸۳ به‌وسیله تورباک و هر یک ارایه شده بود. به هر حال در حال حاضر، در پژوهش‌های مختلف واژگان متفاوتی برای الیاف سلولزی در ابعاد نانو ارایه شده است (چینگا-کاراسکو، ۲۰۱۱). هنریکسون و همکاران (۲۰۰۸)، مطالعه گسترده‌ای بر روی استفاده از سلولز میکروفیبریله شده برای تولید نانو کاغذ انجام داده و موفق به ساخت نوعی نانو کاغذ با مقاومت کششی ۲۱۴ مگاپاسکال و مدول الاستیسیته ۱۳/۲ گیگا پاسکال از سلولز میکروفیبریله شده شدند که از مقاومت کششی چدن بیشتر و در حد مقاومت کششی فولاد می‌باشد. این نانو کاغذ قوی‌ترین کاغذ ساخت بشر شناخته شده است. در روش ساخت این نانو کاغذ از آنزیم استفاده شده که یک روش دوستدار محیط زیست است، صدمه کمتری به الیاف سلولزی وارد شده و مقاومت ذاتی آن‌ها افت کمتری پیدا کرده است. به‌علاوه، نحوه آرایش نانو بلورهای سلولزی برای ایجاد شبکه نیز سبب افزایش مقاومت‌های این نانو کاغذ می‌شود. حسن و همکاران (۲۰۱۱)، نیز در پژوهش گسترده‌ای قابلیت‌های خمیر کرافت باگاس و خمیر کرافت کلش برنج را مورد بررسی قرار دادند. نانو کاغذ تولید شده از خمیر کرافت باگاس پس از ۳۰ مرحله عبور از دستگاه آسیاب پر قدرت دارای مقاومت مکانیکی در حدود ۱۱۰ مگاپاسکال و نیز مقاومت مکانیکی نانو کاغذ تولید شده از خمیر کرافت کلش برنج در حدود ۶۸/۱ مگاپاسکال بوده است. فرر و همکاران (۲۰۱۲)، قابلیت‌های ضایعات ساقه درخت نخل را برای تولید سلولز نانوفیبریله شده و نانو کاغذ بررسی و نتیجه‌گیری کردند که نانو کاغذ تولید شده از خمیر سودا آنتراکینون دارای مقاومت مکانیکی ۱۳۷ مگاپاسکال و در حد نانو کاغذ تولید شده از خمیر رنگ‌بری شده چوب بوده و قابل توصیه برای استفاده در صنایع بسته‌بندی می‌باشد.

اهدافی که در این پژوهش پیگیری می‌شوند عبارتند از:

۱- قابلیت تولید نانو الیاف سلولز از باگاس در کیفیت‌های مختلف (کاملاً مکانیکی و آنزیمی- مکانیکی)

۲- بررسی تأثیر متغیرهای تولید نظیر تعداد مراحل عبور از همگن‌ساز و نوع پیش تیمار بر خصوصیات نانو الیاف سلولز و نانو کاغذ تولید شده

مواد و روش‌ها

ماده اولیه: خمیر نیمه رنگ‌بری شده سودای باگاس از کارخانه کاغذ پارس واقع در شهرستان اهواز تهیه شد. سپس رنگ‌بری با استفاده از فرآیند DED شامل دو مرحله دی‌اکسید کلر به همراه استخراج قلیایی حدواسط انجام گردید. شرایط مورد استفاده در مرحله رنگ‌بری به شرح جدول ۱ می‌باشد. میزان گرانیروی^۱ خمیر سودای باگاس با استفاده از استاندارد شماره ۵۳۵۱:۲۰۱۰ آیین‌نامه اسکن^۲ و درجه بسپارش^۳ نیز استفاده از فرمول مارک- هوینک- ساکارادو تعیین گردید.

جدول ۱- شرایط مورد استفاده برای رنگ‌بری خمیر شیمیایی سودای باگاس.

| شرایط رنگ‌بری | | | متغیرهای رنگ‌بری |
|--------------------------|---------------------------------|--------------------------|---------------------------------------|
| دی‌اکسید کلر (مرحله دوم) | استخراج قلیایی (هیدروکسید سدیم) | دی‌اکسید کلر (مرحله اول) | |
| ۰/۶ | ۱/۴۴ | ۲/۴ | مواد شیمیایی بر مبنای کلر فعال (درصد) |
| ۱۰ | ۱۰ | ۱۰ | غلظت خمیر (درصد) |
| ۲ | ۱ | ۱ | زمان (ساعت) |
| ۷۰ | ۷۰ | ۷۰ | درجه حرارت (درجه سانتی‌گراد) |

تولید نانوالیاف سلولز باگاس

پیش تیمار مکانیکی خمیر کاغذ: قبل از تهیه نانوالیاف سلولز باگاس، الیاف خمیر کاملاً رنگ‌بری شده با استفاده از دستگاه جداکننده الیاف باز شده و سپس در دستگاه پالایشگر آزمایشگاهی تا درجه روانی SR ۵۳ و با استفاده از استاندارد شماره ۲-۵۲۶۴ آیین‌نامه ایزو پالایش گردید. تعیین درجه روانی خمیرها نیز بر اساس استاندارد شماره ۲-۵۲۶۷: ۱۹۹۹ آیین‌نامه ایزو انجام شد.

نانوالیاف سلولز تهیه شده به روش کاملاً مکانیکی: الیاف پالایش شده بدون استفاده از هیچ‌گونه پیش تیمار با استفاده از دستگاه همگن‌ساز^۴ با قدرت بسیار زیاد از نوع رانی، ای پی وی در فشار ۱۰۰۰ بار و با غلظت ۱ درصد پس از چند مرحله عبور از همگن‌ساز به نانوالیاف سلولز باگاس تبدیل

- 1- Viscosity
- 2- Scandinavian Standard (SCAN)
- 3- Degree of Polymerization
- 4- High Pressure Homogenizer

شده و نانوالیاف سلولز باگاس نیز پس از ۳ و ۵ مرحله عبور جمع‌آوری شد. نانوالیاف سلولز تهیه شده با پیش تیمار آنزیمی: در این مرحله روش پاکو و همکاران (۲۰۰۷) مورد استفاده قرار گرفت. به‌همین منظور مقدار ۱۰۰ گرم (برمبنای وزن خشک) خمیر پالایش شده سودای باگاس در مقدار ۲/۵ لیتر بافر فسفات در PH=۷ به‌همراه مقدار ۰/۱۷ میکرولیتر آنزیم اندوگلوکاناز (نوعی سلولاز) پراکنده شد. درجه حرارت مورد استفاده برای فعالیت آنزیم ۵۰ درجه سانتی‌گراد و به‌مدت ۲ ساعت بود. آنزیم مورد استفاده از شرکت نوونزایم دانمارک تهیه شد. پس از این مرحله، فعالیت آنزیم در درجه حرارت ۸۰ درجه سانتی‌گراد و به‌مدت ۳۰ دقیقه متوقف گردید. در نهایت الیاف پیش تیمار شده با استفاده از آب دیونیزه شده و به‌مدت چند مرحله شستشو شد. این خمیر به‌عنوان ماده اولیه برای تولید نانو الیاف سلولز تهیه شده با پیش تیمار آنزیمی مورد استفاده قرار گرفت. برای تولید این نوع نانو الیاف نیز، از روش اشاره شده در پاراگراف قبلی استفاده شد و نانوالیاف سلولز تهیه شده پس از ۳ و ۵ مرحله عبور از همگن‌ساز با قدرت بسیار زیاد جمع‌آوری گردید.

تولید نانو کاغذ: برای تولید نانو کاغذ از کیفیت‌های مختلف نانوالیاف سلولز باگاس از روش پراکنده‌سازی به طریق قالب‌گیری استفاده شد. برای این منظور، ۱۰ عدد نانو کاغذ با وزن پایه 30 g/m^2 ساخته شد. برای این کار مقداری از دوغاب نانوالیاف سلولز برابر با وزن پایه ذکر شده در ظرف پلاستیکی مخصوص ریخته شد و در حرارت ۳۰ درجه سانتی‌گراد اجازه داده شد که خشک شود. علامت اختصاری و کدهای مورد استفاده برای تولید نانو الیاف سلولز باگاس و نانو کاغذها به شرح جدول ۲ می‌باشد.

جدول ۲- علامت اختصاری و کدهای مورد استفاده برای تولید نانوالیاف و نانو کاغذ از باگاس.

| متغیرها علامت اختصاری | پیش تیمار | تعداد مراحل عبور از همگن‌ساز | روش تولید نانو کاغذ |
|-----------------------|-----------------------|------------------------------|-----------------------|
| U _۳ | فقط پالایش | ۳ | قالب‌گیری سوسپانسیونی |
| U _۵ | فقط پالایش | ۵ | قالب‌گیری سوسپانسیونی |
| E _۳ | آنزیم به‌همراه پالایش | ۳ | قالب‌گیری سوسپانسیونی |
| E _۵ | آنزیم به‌همراه پالایش | ۵ | قالب‌گیری سوسپانسیونی |

تعیین ویژگی‌های فیزیکی نانوکاغذها: ضخامت نانوکاغذها بر اساس استاندارد شماره ۱۹۸۸:۵۳۴ آیین‌نامه ایزو و با استفاده از دستگاه میکرومتر، گراماژ نانوکاغذها بر اساس استاندارد شماره ۱۹۹۵:۵۳۶ آیین‌نامه ایزو و ناصافی سطح نانوکاغذ بر اساس استاندارد شماره ۴-۸۷۹۱ آیین‌نامه ایزو و با استفاده از روش PPS Print-surf method و دستگاه L and W و هر کدام از ویژگی‌ها در شش تکرار اندازه‌گیری شده است.

تعیین ویژگی‌های مکانیکی نانوکاغذها: شاخص مقاومت کششی نانوکاغذها بر اساس استاندارد شماره ۱۹۹۴: ۲-۱۹۲۴ آیین‌نامه ایزو و با استفاده از دستگاه زویک^۱ و شاخص مقاومت به پاره شدن بر اساس استاندارد شماره ۱۹۷۴ آیین‌نامه ایزو و دستگاه المندورف^۲ و در هشت تکرار اندازه‌گیری شده است.

تعیین ویژگی‌های نوری نانوکاغذها: روشنی نانوکاغذها بر اساس استاندارد شماره ۲۴۷۰ آیین‌نامه ایزو، ماتی بر اساس استاندارد شماره ۲۴۷۱ آیین‌نامه ایزو و ضریب پخش نور بر اساس استاندارد شماره ۹۴۱۶ آیین‌نامه ایزو و با استفاده از دستگاه L and W ELREPHO و هر کدام از ویژگی‌ها در ده تکرار اندازه‌گیری شده است.

نتایج و بحث

ویژگی‌های الیاف خمیرکاغذ سودای باگاس: ویژگی‌های الیاف خمیرکاغذ سودای باگاس به‌عنوان ماده اولیه برای تولید نانوالیاف سلولزی با استفاده از دستگاه STFI Fibermaster و روش پیشنهاد شده مرکز مؤسسه تحقیقاتی کاغذ و الیاف نروژ به شرح جدول ۳ اندازه‌گیری شد:

جدول ۳- ویژگی‌های الیاف مورد استفاده برای تولید نانوالیاف سلولزی.

| ویژگی‌های الیاف | میانگین طول (میلی‌متر) | میانگین قطر (میکرومتر) |
|--------------------------------------|------------------------|------------------------|
| خمیرکاغذ رنگ‌بری شده سودای باگاس DED | ۰/۶۸۴ | ۲۲/۸ |

1- Zwick
2- Elmendorf

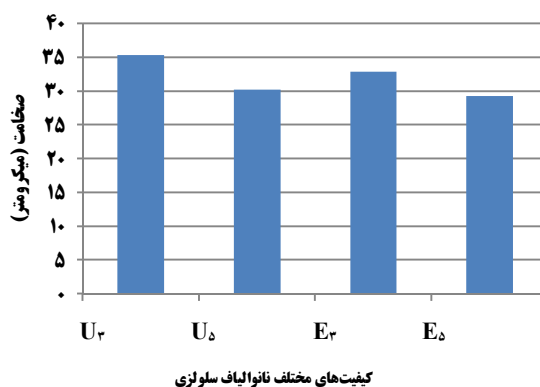
همان‌طور که از جدول ۳ دیده می‌شود میانگین طول و قطر الیاف خمیرکاغذ سودای باگاس در کمترین حد خود می‌باشد. لذا از یک طرف در هنگام فیبریله شدن با دستگاه همگن‌ساز مشکلات کمتری ایجاد شده و از طرف دیگر برای تولید نانوالیاف سلولزی انرژی کمتری موردنیاز خواهد بود. ارزیابی گرانی و درجه بسپارش خمیر شیمیایی سودای باگاس و نانوالیاف سلولزی: گرانی و درجه بسپارش اولیه خمیر شیمیایی رنگبری شده سودای باگاس به ترتیب ۵۷۶ میلی‌لیتر بر گرم و ۸۱۷ بوده است که با عبور از همگن‌ساز به ترتیب از گرانی و درجه بسپارش آن کاسته شده و در نتیجه فیبریلایسیون بیشتری اتفاق می‌افتد تا حدی که با افزایش تعداد مراحل عبور خمیرکاغذ سودای باگاس از همگن‌ساز از سه مرحله به پنج مرحله، میزان گرانی و درجه بسپارش نانوالیاف سلولزی به ترتیب ۲۴/۵ و ۲۷/۳ درصد کاهش می‌یابد. پیشتر زیمرمن و همکاران (۲۰۱۰) و یو و سیه (۲۰۱۰) نیز چنین نتیجه‌ای را تأیید کرده بودند. همچنین با استفاده از پیش تیمار آنزیمی و سه مرحله عبور از همگن‌ساز، میزان گرانی و درجه بسپارش به ترتیب ۱۷/۷ و ۱۹/۵ درصد کاهش یافت، در حالی که این موضوع برای ۵ مرحله عبور از همگن‌ساز برای گرانی و درجه بسپارش به ترتیب ۲۰ و ۲۲ درصد بود. پیشتر نیز چون و همکاران (۲۰۱۱) دریافتند که هرچه تعداد مراحل عبور نانوالیاف از همگن‌ساز بیشتر شود، درجه بسپارش کاهش قابل ملاحظه‌ای خواهد یافت. همچنین، هنریکسون و همکاران (۲۰۰۸) نیز به نتایج مشابهی دست پیدا کرده بودند.

ویژگی‌های نانو کاغذ: در این بخش ارزیابی تأثیر متغیرهای فرآیندی بر ساختار و ویژگی‌های فیزیکی، مقاومتی و نوری نانو کاغذ تهیه شده از خمیرکاغذ سودای باگاس مورد بررسی قرار می‌گیرد.

ویژگی‌های فیزیکی نانو کاغذ

ضخامت: نانو کاغذهای تهیه شده از نانوالیاف سلولزی باگاس بدون پیش تیمار دارای ضخامتی به مراتب بیشتر از نانو کاغذ تهیه شده از نانوالیاف سلولزی با پیش تیمار آنزیمی می‌باشد. دلیل این موضوع این است که طی فرآیند پیش تیمار عمل فیبریلایسیون الیاف اتفاق افتاده و به دلیل ایجاد سطح ویژه بیشتر، تعداد پیوندهای هیدروژنی نیز افزایش می‌یابد (یو و سیه، ۲۰۱۰). بنابراین قدرت پیوندها نیز افزایش خواهد یافت. در نتیجه این فرآیند، ساختار فشرده تری در نانو کاغذها ایجاد می‌شود و به‌طور کلی ضخامت کاغذهای ساخته شده از نانو کاغذهای تهیه شده از پیش تیمار آنزیمی کمتر از نانو کاغذهای تهیه شده از الیاف بدون پیش تیمار بود. شکل ۲ ضخامت نانو کاغذهای ساخته شده از

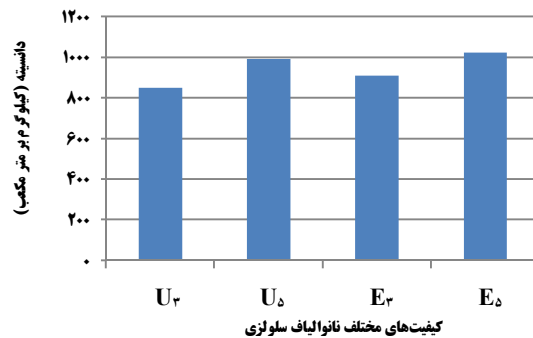
نانوالیاف سلولزی با کیفیت‌های مختلف را نشان می‌دهد.



شکل ۱- ضخامت نانو کاغذهای ساخته شده از نانوالیاف سلولزی با کیفیت‌های مختلف.

همان‌طور که ملاحظه می‌شود با افزایش تعداد مراحل عبور نانوالیاف سلولزی بودن پیش تیمار از سه مرحله به ۵ مرحله، میزان ضخامت نانو کاغذهای تولید شده به‌طور متوسط ۱۵ درصد کاهش می‌یابد و ساختار آن متراکم‌تر و فشرده‌تر می‌شود. کمترین ضخامت نانو کاغذها نیز به نانو کاغذ ساخته شده از نانوالیاف سلولزی با پیش تیمار آنزیمی و ۵ مرحله عبور مربوط است که دارای متراکم‌ترین ساختار در بین کیفیت‌های مختلف نانوالیاف سلولزی استفاده شده می‌باشد.

دانشیته: دانشیته یکی از مهم‌ترین ویژگی‌های نانو کاغذ بوده که نشان‌دهنده میزان تراکم و فشرده‌گی نانوالیاف در بافت کاغذ است. هرچه دانشیته نانو کاغذها بیشتر شود آنگاه کاغذها دارای ویژگی‌های مقاومتی بیشتری نیز خواهند بود. دانشیته نانو کاغذها با پیش تیمار آنزیمی نسبت به بدون پیش تیمار برای سه و ۵ مرحله عبور از همگن‌ساز به ترتیب $7/4$ و ۳ درصد افزایش می‌یابد. دانشیته نانو کاغذها با هر مرحله عبور از همگن‌ساز برای بدون پیش تیمار و پیش تیمار آنزیمی به ترتیب $8/5$ و ۶ درصد افزایش می‌یابد. شکل ۲ دانشیته نانو کاغذهای ساخته شده از نانوالیاف سلولزی با کیفیت‌های مختلف را نشان می‌دهد.

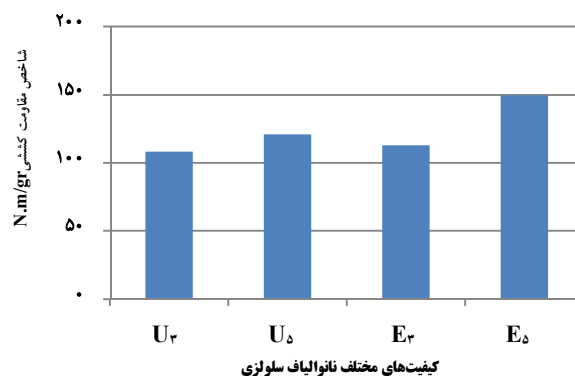


شکل ۲- دانسیته نانوکاغذهای ساخته شده از نانوالیاف سلولزی با کیفیت‌های مختلف.

بنابراین بیشترین دانسیته نانوکاغذها به نانوکاغذ ساخته شده از نانوالیاف سلولزی تهیه شده از پیش تیمار آنزیمی و ۵ مرحله عبور از همگن‌ساز مربوط است.

ویژگی‌های مقاومتی نانوکاغذ

شاخص مقاومت کششی: مقاومت کششی نانوکاغذها نشان دهنده میزان و قدرت پیوند هیدروژنی تشکیل شده بین نانوالیاف در بافت کاغذ است. با افزایش تعداد و قدرت این پیوندها، مقاومت کششی نانوکاغذهای ساخته شده نیز بیشتر خواهد شد. همچنین این مقاومت از یکسو به تعداد و قدرت پیوندها و از سوی دیگر به مقاومت تک تک نانوالیاف وابسته است. به طور کلی با افزایش فیبریلایون چه از طریق افزایش تعداد مراحل عبور از همگن‌ساز و چه از طریق پیش تیمار آنزیمی، مقاومت کششی نانوکاغذهای ساخته شده نیز بیشتر خواهد شد. دلیل این مدعا روند کاملاً صعودی شاخص مقاومت کششی در شکل ۳ می‌باشد.

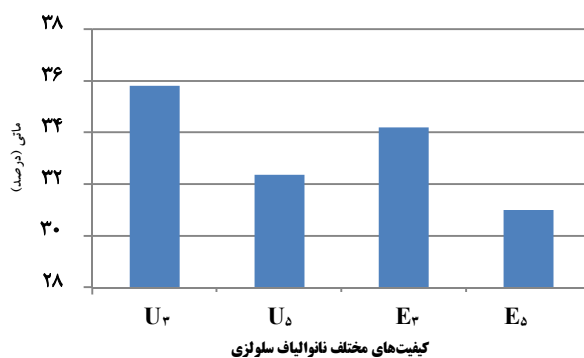


شکل ۳- شاخص مقاومت کششی نانوکاغذهای ساخته شده از نانوالیاف سلولزی با کیفیت‌های مختلف.

شاخص مقاومت کششی نانو کاغذها با افزایش تعداد مراحل عبور در نانوالیاف سلولزی بدون پیش تیمار از سه مرحله به پنج مرحله به میزان ۱۲ درصد افزایش می‌یابد و این در حالی است که این افزایش در نانوالیاف سلولزی با پیش تیمار آنزیمی بیشتر از ۳۲ درصد بوده است. این نتایج با نتایج حاصل از یافته‌های حسن و همکاران (۲۰۱۱)، چون و همکاران (۲۰۱۱) و هنریکسون و همکاران (۲۰۰۸) در تطابق کامل است. بیشترین مقاومت کششی نانو کاغذها نیز به نانو کاغذ ساخته شده از نانوالیاف سلولزی با پیش تیمار آنزیمی و ۵ مرحله عبور از همگن‌ساز مربوط است.

ویژگی‌های نوری نانو کاغذ

ماتی: به‌طور کلی هرچه میزان پیوند بین نانوالیاف بیشتر و بافت کاغذ متراکم‌تر و فشرده‌تر باشد آنگاه ماتی کاغذ کاهش می‌یابد (مورسبرگ و چینگا- کاراسکو، ۲۰۰۹). بنابراین با افزایش میزان فیبریلاسیون از طریق تیمارهای مکانیکی و پیش تیمار آنزیمی، ماتی نانو کاغذهای ساخته شده نیز کاهش می‌یابد. با افزایش تعداد مراحل عبور از همگن‌ساز از سه مرحله به پنج مرحله، ماتی نانو کاغذهای بدون پیش تیمار به میزان ۱۰ درصد کاهش می‌یابد و این کاهش در نانوالیاف با پیش تیمار آنزیمی به میزان ۹/۴ درصد بوده است. شکل ۴ ماتی نانو کاغذهای ساخته شده از نانوالیاف سلولزی با کیفیت‌های مختلف را نشان می‌دهد.



شکل ۴- ماتی نانو کاغذهای ساخته شده از نانوالیاف سلولزی با کیفیت‌های مختلف.

همان‌طور که ملاحظه می‌شود بیشترین ماتی در نانوکاغذ ساخته شده از نانوالیاف سلولزی بدون پیش تیمار و سه مرحله عبور از همگن‌ساز بوده است و کمترین ماتی هم به نانوکاغذ ساخته شده از نانوالیاف سلولزی با پیش تیمار آنزیمی و ۵ مرحله عبور از همگن‌ساز اختصاص دارد. همچنین نتایج به‌دست آمده در این پژوهش با مطالعه انجام شده توسط حسن و همکاران (۲۰۱۱) مطابقت دارد.

نتیجه‌گیری کلی

از خمیرکاغذ سودای باگاس هم به روش مکانیکی و هم به روش آنزیمی- مکانیکی می‌توان نانوالیاف سلولزی تهیه کرد. نتایج نشان داد که با افزایش تعداد مراحل عبور، گرانروی و درجه بسپارش نانو الیاف سلولز باگاس کاهش می‌یابد. در مورد نانوکاغذهای ساخته شده از نانوالیاف سلولزی، مقاومت کششی نانوکاغذ با افزایش تعداد مراحل عبور از سه مرحله به پنج مرحله افزایش قابل توجهی داشت و نانوکاغذ تهیه شده از خمیر تیمار شده با آنزیم و پنج مرحله عبور از همگن‌ساز دارای بیشترین شاخص مقاومت کششی بوده و کمترین شاخص مقاومت به پاره شدن نیز در نانوکاغذ تهیه شده از خمیر بدون تیمار و با سه مرحله عبور از همگن‌ساز بوده است که دلیل این موضوع به‌میزان فیبریله شدن بیشتر الیاف خمیر در هنگام عبور از همگن‌ساز مرتبط است. همچنین نانوکاغذهای ساخته شده از نانوالیاف سلولزی دارای بیشترین مراحل عبور از همگن‌ساز دارای کمترین ماتی و ضریب به پخش نور بودند. به‌طور کلی می‌توان گفت که خمیرکاغذ سودای باگاس قابلیت تولید نانوالیاف سلولزی و نانوکاغذ مشابه با چوب را خواهد داشت.

منابع

- 1.Chinga-Carrasco, G. 2011. Cellulose fibers, nanofibrils and microfibrils: The morphological sequence of MFC components from a plant physiology and fiber technology point of view. *Nanoscale Res. Lett.* 6: 1-7.
- 2.Chun, S.J., Lee, S.Y., Doh, G.H., Lee, S., K, J.H. 2011. Preparation of ultrastrength nanopapers using cellulose nanofibrils. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry.* 17: 521-526.
- 3.Djafari-Petroudy, S.R., Ghasemian, A. 2010. Characteristics and applications of nanocellulose as a high proficiency new raw material. 17th organic chemistry seminar. Babolsar, IRAN.
- 4.Djafari-Petroudy, S.R., Syverud, K., Chinga-Carrasco, G., Ghasemian, A., Resalati, H., Gregersen, Ø.W. 2012. Oriented nanopaper (ONP) made of

- bagasse nanofibrils. 3rd International Cellulose Conference (ICC 2012), Sapporo, Japan.
5. Ferrer, A., Flipponen, L., Rodríguez, A., Laine, J., Rojas, J.O. 2010. Valorization of residual Empty Palm Fruit Bunch Fibers (EPFBF) by microfluidization: Production of nanofibrillated cellulose and EPFBF nanopaper. *Bioresource Technology*. 125: 249–255.
 6. Hassan, M.L., Mathew, A.P., Hassan, E.A., Oksman, K. 2010. Effect of pretreatment of bagasse pulp on properties of isolated nanofibers and nanopaper sheets. *Wood Fiber Sci*. 42(3): 362-376.
 7. Hassan, E.A., Hassan, M.L., Oksman, K. 2011. Improving bagasse pulp paper sheet properties with microfibrillated cellulose isolated from xylanase-treated bagasse. *Wood Fiber Sci*. 43(1): 76-82.
 8. Henriksson, M., Berglund, L.A., Isaksson, P., Lindström, T., and Nishino, T. 2008. Cellulose nanopaper structures of high toughness. *Biomacromolecules*. 9(6): 1579-1585.
 9. Mörseburg, K., Chinga-Carrasco, G. 2009. Assessing the combined benefits of clay and nanofibrillated cellulose in layered TMP-based sheets. *Cellulose*. 16 (5): 795-806.
 10. Pääkkö, M., Ankerfors, M., Kosonen, H., Nykänen, A., Ahola, S., Österberg, M., Ruokolainen, J., Laine, J., Larsson, P.T., Ikkala, O., Lindström, T. 2007. Enzymatic hydrolysis combined with mechanical shearing and high-pressure homogenization for nanoscale cellulose fibrils and strong gels. *Biomacromolecules*. 8(6): 1934-1941.
 11. Sihtola, H., Kyrklund, B., Laamanen, L., Palenius, I. 1963. Comparison and conversion of viscosity and DP-values determined by different methods. *Paperija. Puu*. 4: 225-232.
 12. Siro, I., Plackett, D. 2010. Microfibrillated cellulose and new nanocomposite materials: a review. *Cellulose*. 17(3): 459-494.
 13. Sluiter, A., Hames, B., Ruiz, R., Scarlata, C., Sluiter, J., Templeton, D., Crocker, D. 2008. Determination of structural carbohydrates and lignin in biomass. National Renewable Energy Laboratory NREL/TP-51042618.
 14. Turbak, A.F., Snyder, F.W., Sandberg, K.R. 1983. Microfibrillated cellulose, a new cellulose product: Properties, uses, and commercial potential. *J. Appl. Polym. Sci*. 37: 815-827.
 15. Yoo, S., H, J.S. 2010. Enzyme-Assisted Preparation of Fibrillated Cellulose Fibers and its Effect on Physical and Mechanical Properties of Paper Sheet Composites. *Ind. Eng. Chem. Res*. 49: 2161-2168.
 16. Zimmermann, T., Bordeanu, N., Strub, E. 2010. Properties of nanofibrillated cellulose from different raw materials and its reinforcement potential. *Carbohydr. Polym*. 79(4): 1086-1093.



Gorgan University of Agricultural
Sciences and Natural Resources

J. of Wood & Forest Science and Technology, Vol. 21 (1), 2014

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

Production of nanopaper from cellulose nanofiber prepared from chemical soda bagasse pulp: Effect of processing variables; Pre-treatment and homogenization passing

***S.R. Jafari Petroudi¹, A. Ghasemian² and H. Resalati³**

¹Assistant Professor, Cellulose and Paper Technology Department, Faculty of Energy and New Technologies Engineering, Zirab Scientific and Research Campus, Shahid Beheshti University, ²Associate Professor, Dept. of pulp and paper industries, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, ³Professor, Dept. of pulp and paper industries, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, IRAN

Received: 1-2-2013 ; Accepted: 14-7-2014

Abstract

In this research, study on the capabilities of DED bleached soda bagasse pulp as a raw material for production of cellulose nanofiber was explored. For this purpose, different qualities of cellulose nanofiber were prepared. Cellulose nanofiber was produced either mechanically by homogenization or with enzymatic pre-treatment (pre-treatment with Endoglucanase) followed by homogenization. The effect of different passing through homogenization (three and five times) for either unpretreated or enzyme pre-treated pulps on the nanofiber and nanopaper properties was studied as processing variables. The results showed that viscosities and DP of cellulose nanofiber decreased with increasing the homogenization passing. Dispersion Casting (DC) was selected as a nanopaper production approach. Tensile index of nanopaper increased with increasing homogenization passing from three to five times and nanopaper prepared from enzyme pre-treated pulps and five passing homogenization had higher tensile and lower tear indices. This was most certainly due to a significant increment cellulose nanofiber fibrillation through homogenization processes.

Keywords: Chemical soda bagasse pulp, Cellulose nanofiber, Homogenizer, Dispersion Casting (DC), Viscosity, Degree of Polymerization (DP)

*Corresponding author: sr_jafari@sbu.ac.ir

