بسم الله الرحمن الرحیم

دانشکده مهندسی چوب و کاغذ

پایان‌نامه جهت دریافت درجه کارشناسی ارشد در رشته

صنایع خمیر و کاغذ

بهبود ویژگی‌های مکانیکی و ضدباکتری کاغذ با استفاده از سلولز نانوفیبریله‌شده تیماره شده با نانو ذرات نقره

پژوهش و نگارش:

مهدیس شفاعی

استاد راهنما:

دکتر الیاس افرا

اساتید مشاور:

دکتر علی قاسمیان

دکتر محمدرضا دهقانی

دکتر پونه ابراهیمی

زمستان ۱۳۹۳

تعهدنامه پژوهشی

نظر به اینکه انجام فعالیت‌های پایان‌نامه‌های تحصیلی با بهره‌گیری از حمایت‌های علمی، مالی و پشتیبانی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان صورت می‌پذیرد، به منظور رعایت حقوق دانشگاه، نسبت به رعایت موارد زیر متعهد می‌شوم:

۱. این گزارش حاصل فعالیت‌های علمی- پژوهشی و دانش و آگاهی نگارنده است مگر آنکه در متن به نویسنده یا پدید آورنده اثر ارجاع داده شده باشد.
۲. چاپ هر تعداد نسخه از پایان‌نامه با کسب اجازه کتبی از مدیریت تحصیلات تکمیلی دانشگاه خواهد بود.
۳. انتشار نتایج پایان‌نامه به هر شکل (از قبیل کتاب، مقاله و همایش) با اطلاع و کسب اجازه کتبی از استاد راهنما خواهد بود. نام کامل دانشگاه:
به فارسی: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
و به انگلیسی: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources
در بخش آدرس‌دهی درج خواهد شد.
٤. در انتشار نتایج پایان‌نامه در قالب اختراع، اکتشاف و موارد مشابه، نام کامل دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان به عنوان عضو حقوقی در انتهای فهرست اسامی درج گردد.
۵. تعیین ترتیب اسامی نویسندگان در انتشار نتایج مستخرج از پایان‌نامه و هر گونه تفاوت احتمالی در آن با فهرست مصوب اسامی هیات راهبری پایان‌نامه با تایید استاد راهنمای اول خواهد بود.

اینجانب **مهدیس شفاعی** دانشجوی رشته **صنایع خمیر و کاغذ کارشناسی ارشد** تعهدات فوق و ضمانت اجرایی آن راقبول کرده و به آن ملتزم میشوم.

نام و نام خانوادگی و امضاء

تقدیم به

پدرم

به پاس همه ی زحماتی که در طول سالیان عمر پر برکتش برای اعتلای من متحمل می شود.

مادرم

به او که همواره نگاه نگران و لب های دعاگویش بدرقه راهم است، با دلی مالامال از عشق و محبت بر دستانش بوسه می زنم.

خواهرم

او که وجودش آیینه خلوص است.

تشکر و قدردانی

پس ستایش و سپاس مخصوص خداست که مربی و پرورش دهنده آسمان‌ها، زمین و جهان هستی است (جاثیه، ۳۶)

گذراندن مراحل اجرایی و تدوین این پایان نامه پس از الطاف الهی، مدیون بزرگوارانی است که بدون همراهی آنان طی این طریق ممکن نبود.

تحت سزاوار است نهایت سپاس خود را تقدیم حضور استاد راهنمای ارجمند خود جناب آقای دکتر الیاس افرا نایم که مرا از کمک های ارزنده و راهنمایی های بی دریغش بهره مند ساختند.

از اساتید مشاور محترم جناب آقای دکتر علی قاسمیان و دکتر محمدرضا دهقانی و همچنین از خانم دکتر پونه ابراهیمی که از نظرات ارزشمندشان بهره مند شدم سپاس گزارم.

از داوران محترم جناب آقای دکتر احمدرضا سهرابیان و دکتر محمدهادی آریائی متقرد بخاطر تقبل زحمت بازخوانی این پایان نامه متشکرم.

چکیده

هدف این تحقیق تولید نانو کامپوزیت سلولز نانوفیبریله‌شده/ نانونقره و به کارگیری آن در کاغذ به منظور بهبود همزمان ویژگی‌های مکانیکی و ضدباکتری کاغذ می‌باشد. در این پژوهش احیای نانو ذرات نقره در دو سطح مصرفی ppm ۵ و ۱۰ بر روی سلولز نانوفیبریله‌شده با کمک سدیم‌بورهیدرید انجام شد و در نهایت نانو کامپوزیت NFC/ نانو نقره در سه سطح ۵، ۱۰ و ۱۵٪ وزنی نسبت به وزن کاغذ به منظور بهبود همزمان ویژگی‌های مکانیکی و ضدباکتری استفاده شد. نتایج افزایش دانسیته و شاخص مقاومت به ترکیدگی را نشان می‌دهد. همچنین درجه روشنی کاغذهای تیمار شده با نانو کامپوزیت NFC/ نانو نقره کاهش و شاخص ماتی افزایش یافت. ویژگی‌های ضدباکتریایی بر علیه دو نوع باکتری اشرشیاکلای و استفیلوکوکوس‌اورئوس که به ترتیب نماینده باکتری‌های گرم منفی و گرم مثبت هستند مورد بررسی قرار گرفت. نتایج حاکی از آن است که با وجود مقادیر کم نقره در کاغذهای تیمار شده مانع رشد باکتری شدند. به منظور هدف جانبی خواص ضدباکتری فیلم نانو کامپوزیت NFC/ نقره و فیلم NFC تیمار شده با نانو ذرات نقره به روش غوطه‌وری در دو سطح نقره مصرفی ppm ۵ و ۱۰ تهیه شد. نتایج نشان می‌دهد خواص ضدباکتری نانو کامپوزیت NFC/ نانو نقره به دلیل لایه نشانی نانو ذرات نقره بر روی NFC نسبت به فیلم NFC تیمار شده با نانو ذرات نقره به روش غوطه‌وری بیشتر می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: سلولز نانوفیبریله‌شده، نانو ذرات نقره، کاغذ، فیلم.

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل اول

۱-۱ کلیات ۲

۱-۲ اهمیت خواص مقاومتی در کاغذ ۳

۱-۲-۱ شیوه‌های متداول افزایش بهبود ویژگی‌های مقاومتی و معایب آن ٤

۱-۳ فناوری نانو ۵

۱-۳-۱ نانو الیاف‌سلولزی ٦

۱-٤ لزوم تولید کاغذهای ضدباکتری ۸

۱-٤-۱ مواد مورد استفاده در بهبودخواص ضدباکتری ۸

۱-٤-۲ نانو ذرات نقره ۹

۱-٤-۲-۱ مکانیسم عملکرد نانو ذرات نقره ۱۰

۱-۵ باکتری ۱۲

۱-۵-۱ ساختمان باکتری ۱۲

۱-۵-۲ اشرشیاکلی ۱٤

۱-۵-۳ استفیلوکوکوس‌اورئوس ۱۵

۱-۵ بیان مسئله ۱۵

۱-٦ اهداف ۱٦

۱-۷ فرضیه‌ها ۱٦

فصل دوم

۲-۱ مرورمنابع ۱۸

فصل سوم

۳-۱ عوامل ثابت ۲٤

۳-۲ عوامل متغیر ۲٤

۳-۳ مواد ۲٤

۳-۳-۱ خمیر کاغذ ۲٤

۳-۳-۲ تهیه‌ی سلولز نانوفیبریله‌شده ۲٤

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

۳-۳-۳ مواد مورد نیاز برای تهیه نانو ذرات نقره ۲٤
۳-۳-٤ پلی دادمک ۲۵
۳-۳-۵ باکتری ۲۵
۳-٤ روش‌ها ۲۵
۳-٤-۱ فرآوری نانو ذرات نقر ۲۵
۳-٤-۲ فرآوری نانو سلولز ضدباکتری ۲٦
۳-٤-۳ آماده‌سازی خمیر کاغذ برای عملیات پالایش ۲٦
۳-٤-٤ پالایش خمیرکاغذ ۲۷
۳-٤-۵ اندازه‌گیری درجه روانی خمیر کاغذ ۲۷
۳-٤-٦ تهیه کاغذ دست‌ساز ۲۸
۳-٤-۷ ساخت فیلم‌های نانو سلولزفیبریله‌شده ۲۸
۳-۵ خواص فیزیکی ۳۰
۳-۵-۱ وزن پایه ۳۰
۳-۵-۲ دانسیته کاغذ ۳۰
۳-۵-۳ بررسی ویژگی مقاومت به عبور هوا ۳۰
۳-٦ خواص مقاومتی ۳۰
۳-٦-۱ شاخص مقاومت به ترکیدن ۳۰
۳-٦-۲ شاخص مقاومت در برابر پاره شدن ۳۱
۳-۷ ارزیابی ویژگی نوری ۳۱
۳-۷-۱ ماتی ۳۱
۳-۷-۲ درجه روشنی ۳۱
۳-۸ آزمون بیولوژیکی ۳۲
۳-۸-۱ استریل نمودن کاغذها ۳۲
۳-۸-۲ تهیه محیط کشت ۳۲
۳-۸-۳ تهیه باکتری‌ها ۳۳

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

۳-۹ اندازه گیری پتانسیل زتا ۳٤
۳-۱۰ تهیه تصاویر میکروسکوپ الکترونی گسیل میدانی، آنالیز عنصری و MAP از نمونه‌های کاغذ و فیلم. ۳۵
۳-۱۱ آزمون FTIR ۳۵
۳-۱۲ روش آماری ۳۵
۳- ۱۳ ترکیب تیمار نهایی کاغذ و فیلم ۳٦
فصل چهارم / نتایج و بحث
٤- بحث و نتایج ۳۸
٤-۱ نتایج حاصل از طیف‌سنجی نور فعال (DLS) ۳۸
٤-۱-۱ اندازه‌گیری اندازه ذرات و شارژ نانو ذرات نقره با آزمون DLS ۳۸
٤-۱-۲ اندازه ذرات و بار سطحی سلولز نانوفیبریله‌شده بر اساس آزمون DLS ٤۱
٤-۲ آنالیز شیمیایی سطح کاغذهای تیمار شده با سلولز نانوفیبریله‌شده ضد باکتری با استفاده از طیف‌سنج مادون قرمز- فوریه ٤۲
٤-۳ آنالیز عنصری سطح کاغذ، نقشه پراکنش (MAP) و تصاویر FE- SEM ٤٤
٤-۳-۱-۱ آنالیز عنصری و تصویر MAP فیلم کامپوزیت سلولز نانوفیبریله‌شده/ نانو ذرات نقره ٤۵
٤-۳-۱-۲ آنالیز عنصری و تصویر MAP فیلم NFC تیمار شده با نانو ذرات نقره در دو سطح مصرفی ppm ۵ و ۱۰ به روش غوطه‌وری ٤۷
٤-۳-۱-۳ مقایسه فیلم نانو کامپوزیت NFC/ نانو نقره با فیلم‌های NFC تیمار شده با نانو ذرات نقره به روش غوطه‌وری ٤۸
٤-۳-۱-٤ آنالیز عنصری و تصویر MAP کاغذ تیمار شده با ۱۵٪ وزنی از نانو کامپوزیت NFC/ نانو نقره در سطح مصرفی ppm ۵ و ۱۰ ..... ٤۹
٤-۳-۲ ریزنگاره‌ی میکروسکوپ الکترونی روبشی از کاغذها و فیلم‌های دست‌ساز ۵۰
٤-۳-۲-۱ ریزنگاره‌ی میکروسکوپ الکترونی از فیلم‌های خالص سلولزنانوفیبریله‌شده ۵۰
٤-۳-۲-۲ ریزنگاره‌ی میکروسکوپ الکترونی از فیلم نانو کامپوزیت NFC/ نانو نقره ۵۱
٤-۳-۲-۳ ریزنگاره‌ی میکروسکوپ الکترونی از کاغذهای دست ساز تیمار شده با ۱۵٪ وزنی از نانو کامپوزیت NFC/ نانو نقره در سطح نقره مصرفی ppm ۵ و ۱۰ ..... ۵۲
٤-۳-۲-٤ ریزنگاره‌ی میکروسکوپ الکترونی از فیلم NFC تیمار شده روش غوطه‌وری ۵٤

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

٤-٤ بررسی خواص فیزیکی ٥٥
٤-٤-١ دانسیته ٥٥
٤-٤-٢ مقاومت به عبور هوا ٥٦
٤-٥ خواص مقاومتی ٥٧
٤-٥-١ شاخص مقاومت به ترکیدگی ٥٧
٤-٥-٢ شاخص مقاومت به پاره شدن ٥٩
٤-٦ ویژگی نوری ٦٠
٤-٦-١ ماتی ٦٠
٤-٦-٢ درجه روشنی ٦٢
٤-٧ آزمون بیولوژیکی ٦٣
٤-٧-١ آزمون بیولوژیکی فیلم‌های سلولز نانوفیبریله‌شده ٦٣
٤-٧-١-١ اشرشیاکلی ٦٤
٤-٧-١-٢ استافیلوکوکوس‌اورئوس ٦٦
٤-٨-١ آزمون بیولوژیکی کاغذهای تیمار شده با نانو کامپوزیت NFC/ نقره ٦٧
٤-٨-١-١ اشرشیاکلی ٦٧
٤-٨-١-٢ استافیلوکوکوس‌اورئوس ٦٨
٤-٧-٣ مقایسه اشرشیاکلای و استافیلوکوکوس‌اورئوس ٦٩

فصل پنجم: نتیجه گیری و پیشنهاد

٥-١ نتیجه‌گیری کلی ٧٢
٥-٢ پیشنهادات ٧٣
منابع ٧٧

فهرست اشکال

عنوان **صفحه**

شکل۱-۲ : طرح شماتیکی اجزای باکتری (وارن، ۱۹۹۸) ۱٤
شکل۳-۲ دستگاه طیف‌سنجی نور فعال ۳۵
شکل ٤-۱ توزیع ابعادی ذرات نقره قبل از تیمار فراصوتی بااستفاده از آزمون DLS ۳۹
شکل ٤-۲ توزیع ابعادی نانوذرات نقره پس از تیمار فراصوتی بر اساس آزمون DLS ٤۰
شکل ٤-۳ بار سطحی نانو ذرات نقره فرآوری شده بر اساس آزمون DLS ٤۰
شکل ٤-٤ توزیع ابعادی سلولز نانوفیبریله‌شده تیماره شده با نانو ذرات نقره با استفاده از آزمون DLS ٤۱
شکل ٤-۵ بار سطحی ذرات سلولز نانوفیبریله‌شده تیماره شده با نانو ذرات نقره با استفاده از آزمون DLS ٤۲
شکل ٤-٦ طیف مادون قرمز- فوریه نانو ذرات نقره ٤۲
شکل ٤-۷ طیف مادون قرمز- فوریه الف) کاغذ تیمار شده با نانو سلولز فیریله شده ب) کاغذ تیمار شده با نانو سلولز فیبریله شده ضدباکتری ٤٤
شکل٤-۸ الف) MAP نانو کامپوزیت سلولز نانوفیبریله‌شده/ نانو ذرات نقره ppm ۵ ب) نمودار آنالیز عنصری ٤۵
شکل ٤-۹ الف) MAP کامپوزیت سلولز نانوفیبریله‌شده/ نانو ذرات نقره ppm ۱۰ ب) نمودار آنالیز عنصری ٤٦
شکل ٤-۱۰ الف) MAP فیلم NFC تیمار شده با نانو ذرات نقره ppm ۵ به روش غوطه‌وری ب) نمودار آنالیز عنصری ٤۷
شکل٤-۱۱ الف) MAP فیلم تیمار شده با نانو ذرات نقره ppm۱۰۰ به روش غوطه‌وری ب) نمودار آنالیز عنصری .. ٤۸
شکل ٤-۱۲ الف) MAP کاغذ تیمار شده با ۱۵٪ وزنی نانو کامپوزیت NFC/ نانو نقره در سطح مصرفی۵ ppm ب) نمودار آنالیز عنصری ٤۹
شکل ٤-۱۳ الف) MAP کاغذ تیمار شده با ۱۵٪ وزنی نانو کامپوزیت NFC/ نانو نقره در سطح مصرفیppm ۱۰ ب) نمودار آنالیز عنصری ۵۰
شکل ٤-۱٤ تصاویر FESEM از فیلم ساخته شده با سلولز نانوفیبریله‌شده ۵۱
شکل ٤-۱۵ تصاویر FESEM ازکامپوزیت سلولز نانوفیبریله‌شده/ نانو درات نقره ppm۱۰ ..... ۵۱
شکل ٤-۱٦تصاویر FESEM از کاغذ تیمار شده با۱۵٪ درصد وزنی کامپوزیت NFC/ نانو نقره باسطح نقره مصرفی ppm ۵ ..... ۵۲
شکل ٤-۱۷تصاویر FESEM از سطح کاغذ تیمار شده با۱۵٪ درصد وزنی کامپوزیت NFC/ نانو نقره باسطح نقره مصرفی ppm ۱۰ ..... ۵۳
شکل ٤-۱۸ تصاویر FESEM از سطح فیلم NFC تیمار شده با نانو ذرات نقره در سطح مصرفی نقره ppm ۵به روش غوطه‌وری ۵٤

فهرست اشکال

عنوان **صفحه**

شکل ٤-١٩ تصاویر FESEM از سطح فیلم NFC تیمار شده با نانو ذرات نقره در سطح نقره مصرفی ppm ١٠ به روش غوطه‌وری ٥٥

شکل ٤-٢٠ نمودار ارزیابی تغییرات دانسیته در کاغذهای تیمار شده با NFC و نانوکامپوزیت NFC/ نانو نقره ٥٦

شکل ٤-٢١ نمودار تغییرات بررسی شاخص مقاومت به عبور هوا در کاغذهای تیمارشده با NFC و نانو کامپوزیت NFC/ نانو نقره ٥٧

شکل ٤-٢٢ نمودار بررسی تغییرات شاخص مقاومت به ترکیدگی در کاغذهای تیمارشده شده با NFC و نانوکامپوزیت NFC/ نانو نقره ٥٨

شکل ٤-٢٣ نمودار بررسی تغییرات شاخص مقاومت به پارگی در کاغذهای تیمارشده شده با NFC و نانوکامپوزیت NFC/ نقره ٦٠

شکل ٤-٢٤ نمودار بررسی تغییرات شاخص ماتی در کاغذهای تیمارشده شده با NFC و نانوکامپوزیت NFC/ نانو نقره ٦١

شکل ٤-٢٥ نمودار بررسی شاخص درجه روشنی در کاغذهای تیمارشده شده با NFC و نانوکامپوزیت NFC/ نانو نقره ٦٣

شکل ٤-٢٦ نمودار رشد باکتری اشرشیاکلی(٪) ٦٥

شکل ٤-٢٧ نمودار رشد باکتری استافیلوکوکوس اورئوس (٪) ٦٦

شکل ٤-٢٨ نمودار تأثیر سطوح مختلف سلولز نانوفیبریله‌شده و نانو درات نقره بر خاصیت ضدباکتری در مقابل باکتری اشرشیاکلی ٦٨

شکل ٤-٢٩ نمودار تأثیر سطوح مختلف سلولزنانوفیبریله‌شده و نانو درات نقره بر خاصیت ضدباکتری در مقابل باکتری استفیلوکوکوس‌اورئوس ٦٩

شکل ٤-٣٠ نمودار مقایسه باکتری اشرشیاکلی و استفیلوکوکوس‌اورئوس ٧٠

فهرست جدول‌ها

عنوان **صفحه**

جدول ۳-۱ :مواد تشکیل دهنده محیط کشت BHIB ۳۳
جدول ۳-۲ تیمارهای نهایی کاغذ ۳۶
جدول ۳-۳ تیمار نهایی فیلم سلولز نانوفیبریله‌شده ۳۶
جدول ۱- آزمون تجزیه واریانس تأثیر NFC و نانو کامپوزیت NFC/ نانو نقره بر دانسیته کاغذهای دست‌ساز ۷٤
جدول ۲ - آزمون تجزیه واریانس تأثیر NFC و نانو کامپوزیت NFC/ نانو نقره بر مقاومت به عبور هوا ۷٤
جدول ۳ - آزمون تجزیه واریانس NFC و نانو کامپوزیت NFC/ نانو نقره بر مقاومت ترکیدگی کاغذهای دست‌ساز ۷٤
جدول ٤ - آزمون تجزیه واریانس NFC و نانو کامپوزیت NFC/ نانو نقره بر مقاومت به پارگی کاغذهای دست‌ساز ۷۵
جدول ۵- آزمون تجزیه واریانس تأثیر NFC و نانو کامپوزیت NFC/ نانو نقره بر ماتی کاغذهای دست‌ساز ۷۵
جدول ٦- آزمون تجزیه واریانس تأثیر NFC و نانو کامپوزیت NFC/ نانو نقره درجه روشنی کاغذهای دست‌ساز ... ۷۵
جدول ۷ - آزمون تجزیه واریانس خواص ضدباکتری فیلم‌های دست‌ساز در برابر E.colie ۷٦
جدول ۸- آزمون تجزیه واریانس خواص ضدباکتری فیلم‌های دست‌سازدر برابر Staph ۷٦
جدول ۹ - آزمون تجزیه واریانس تأثیر NFC و نانو کامپوزیت NFC/ نانو نقره بر روی خواص ضدباکتری کاغذهای دست‌ساز در برابر E.colie ۷٦
جدول ۱۰ - آزمون تجزیه واریانس تأثیر NFC و نانو کامپوزیت NFC/ نانو نقره بر روی خواص ضدباکتری کاغذهای دست‌ساز در برابر Staph ۷٦

فصل اول

مقدمه و کلیات

۱-۱ کلیات

کاغذ از فرآورده‌های خیلی مهم در زندگی روزمره انسان‌های متمدن بوده و به جرأت می‌توان گفت هیچ فرآورده صنعتی دیگری چنین نقش برجسته‌ای در زندگی انسان ندارد (ایزدیار، ۱۳۷۷). این ابزار هنوز هم نقش کلیدی را در ارتباطات بازی می‌کند و در گروه‌های مختلف جامعه نیاز به آن احساس می‌شود. شکی نیست که نه تنها جایگاه ویژه کاغذ در آینده از بین نخواهد رفت، بلکه با بهینه نمودن فرآیند ساخت کاغذ و یا کمک گرفتن از تخصص رشته‌های دیگر، روز به روز بر قلمرو کاربرد آن افزوده خواهد شد. بهبود ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی کاغذ در مباحث کاربردی از اهمیت بالایی برخوردار می‌باشد. رشد روز افزون مصرف مصنوعات کاغذی نیازهای مقاومتی ویژه بالاتر در محصولات جدید، از جمله استفاده از مصنوعات سلولزی در مصارف غیر تحریر مثل محصولات بسته‌بندی و بهداشتی و همچنین بهبود خواصی همچون چاپ پذیری و ...، نیاز به استفاده از روش‌ها و مواد مختلف تقویت کننده ساختار کاغذ را افزایش می‌دهد(هادیلام، ۱۳۹۱). مقاومت کاغذ متناسب با نوع کابردی که برای آن در نظر گرفته شده است می‌تواند در درجه اول اهمیت قرار داشته باشد. به عنوان مثال در مورد کاغذ بسته‌بندی، مقاومت به ترکیدن و در کاغذهای چاپ و تحریر مقاومت به کشش و در کاغذ اسکناس و اوراق بهادار مقاومت به تا خوردن می تواند فاکتورهای مقاومتی به حساب آیند (افشار، ۱۳۹۱). از طرف دیگر در صنایع مختلف مثل صنایع بسته‌بندی و محصولات بهداشتی ایجاد خواص ضد باکتری کمک شایانی به جلوگیری از توسعه و رشد باکتری‌ها و در نتیجه ارتقاء درجه سلامت جامعه می‌گردد.

یکی از انواع متداول کاغذهای مورد استفاده که اخیراً تولید و مصرف آن با روند رو به رشدی در حال توسعه می‌باشد، کاغذهای بهداشتی است. کاغذ بهداشتی یا کاغذ تیشو اکثراً برای مصارف بهداشت شخصی استفاده می‌شود. بهداشت فردی مدرن و در اولویت قرار دادن استفاده از کالاهایی که ارتباط مستقیم با مسائل بهداشتی افراد دارند، در ایران قدمتی کمتر از نیم قرن دارد و توجهی که امروز به این مسائل می‌شود، در گذشته‌های نه چندان دور وجود نداشت و استفاده از کاغذهای بهداشتی نیز تا حدود ۳۰ سال قبل اصلاً مرسوم نبود. وضعیت بازار کاغذهای بهداشتی در حال حاضر به گونه‌ای دیگر است، طوری‌که این کالاها، جزء نیازهای اولیه هر خانه‌ای محسوب می‌شوند، اما برخی خانواده‌ها بدون اطلاع از ویژگی و کیفیت محصولات بهداشتی و دستمال کاغذی، اقدام به خرید آن‌ها می‌کنند. همچنین

در صنایع بسته‌بندی هدف از بسته‌بندی مواد غذایی جلوگیری از فساد باکتریایی و از دست رفتن مواد مغذی و در نتیجه، افزایش مدت زمان ماندگاری آن‌ها است. بسته‌بندی مواد غذایی راهکاری حیاتی برای تضمین ایمنی آن‌ها است (لیاقتی و همکاران، ۱۳۹۱). در این مقوله یکی از موضوعات مهم، بهداشتی بودن و بهداشتی کردن ماده مورد استفاده در این صنایع است که می‌توان با ایجاد این خاصیت در کاغذ دامنه کاربرد آن را افزایش داد و موارد مصرف جدیدی را برای آن تعریف کرد. در دنیای صنعتی امروز به دلیل ارتقای سطح آگاهی و توقع مصرف‌کننده نسبت به کیفیت، همواره بایستی به دنبال راه حل‌های کارا و سودمند در جهت بهبود کیفیت بود. در حال حاضر فرآیندهای تکمیلی گسترش چشمگیری یافته‌اند و نقش به‌سزایی در کیفیت محصول دارند (موچا[1] و همکاران، ۲۰۰۲).

۱-۲ اهمیت خواص مقاومتی در کاغذ

هر یک از انواع کاغذها باید ویژگی‌های خاصی داشته باشند و بدین جهت باید از خمیرهای خاصی تولید گردند. به عنوان مثال کاغذهای بسته‌بندی و لایه سطحی کارتن باید دارای مقاومت به ترکیدگی، کشش، پارگی و ممانعت به هوا، اکسیژن و آب زیاد بوده و معمولاً از خمیر کرافت رنگبری نشده سوزنی‌برگان تولید می‌شود. کاغذ بهداشتی باید دارای الیاف نرم، بالکی، مقاومت متوسط و خاصیت جذب رطوبت بوده، لذا از خمیرهای سولفیت و یا کرافت تولید می‌شود. کاغذ چاپ و تحریر باید دارای شکل‌گیری خوب، روشنی، مقاومت متوسط، خواص نوری و کشسانی[2] بوده و از خمیرهایی چون کرافت رنگبری شده پهن‌برگ و سوزنی‌برگ، الیاف کهنه و خمیر چوب آسیاب شده سفید شده تولید گردد (گیبونز[3]، ۱۹۸٤). امروزه با افزودن مواد مختلف به خمیرکاغذ و مقوا و تغییر در تکنولوژی ساخت، توانسته‌اند قابلیت‌های زیادی به آن ببخشند و قادرند مقاومت، شکل ظاهری و سایر خصوصیات کاغذ و مقوا را با توجه به محصول تغییر دهند.

مقاومت‌های عمومی کاغذ تحت تأثیر قابلیت پیوندیابی الیاف و مواد موجود در دوغاب نهایی خمیرکاغذ می‌باشد. به طور کلی با افزایش سطح پیوند و مقاومت پیوند، مقاومت‌های عمومی کاغذ افزایش می‌یابد، لذا تمامی فعالیت‌هایی که به منظور بهبود مقاومت‌های کاغذ انجام می‌شود با

---

[1]- Mucha
[2]- Elasticity
[3]- Gibbons

رویکرد افزایش سطح پیوند و پتانسیل پیوندیابی الیاف در مراحل عمل‌آوری خمیرکاغذ می‌باشد. سه مرحله مهم در عمل‌آوری خمیرکاغذ قبل از انتقال آن به بخش ماشین کاغذ وجود دارد که در مجموع به مراحل آماده سازی خمیر معروف است. مرحله اول آماده‌سازی خمیر شامل تبدیل خمیر به صورت دوغاب خمیر است و مرحله دوم شامل پالایش الیاف به منظور بهبود ویژگی‌های فیزیکی، مکانیکی و نوری کاغذ می‌باشد. مرحله سوم که عموما در بخش پایانه‌تر کاغذسازی انجام می‌پذیرد شامل افزودنی‌های مختلف به منظور بهبود ویژگی‌های عمومی کاغذ و همچنین کمک به تسهیل فرآیند کاغذسازی می‌باشد (آتش‌افروز، ۱۳۹۲).

۱-۲-۱ شیوه‌های متداول افزایش بهبود ویژگی‌های مقاومتی و معایب آن

امروزه تلاش‌های زیادی به منظور بهبود خواص فیزیکی، مقاومتی و ممانعتی کاغذها انجام شده که از جمله‌ی آن می‌توان به افزودن مواد افزودنی فیبری چون الیاف بلند سوزنی‌برگان، الیاف نرمه‌ی حاصل از خمیر شیمیایی و مواد افزودنی غیرفیبری مانند پرکننده‌ها، عوامل آهاردهی درونی و چسب‌های ویژه خمیرکوب از جمله پلیمرهای طبیعی و مصنوعی نام برد (مدنی[1] و همکاران، ۲۰۱۱؛ میرشکرایی، ۱۳۸۲). متأسفانه بسیاری از این پلیمرها سنتزی بوده و زیست تخریب‌پذیر نیستند و به همین دلیل سبب مشکلات زیست محیطی می‌شوند (میلیتای[2] و همکاران، ۲۰۰۹). علاوه‌براین برای خواص ممانعتی از فناوری‌های مختلفی چون آهاردهی سطحی و اندود استفاده می‌شود (میرشکرایی، ۱۳۸۲). اما در این میان تولیدکننده کاغذ با چالش‌هایی چون ماندگاری و زیست تخریب‌پذیری مواد افزودنی، نحوه بهینه شکل‌گیری و آب‌گیری خمیر کاغذ در ازای بهبود خواص مقاومتی و ممانعتی مواجه هستند (مانینن و همکاران، ۲۰۱۱؛ مدنی و همکاران، ۲۰۱۱). به طور کلی، مقاومت‌های کاغذ با دو روش مکانیکی و شیمیایی افزایش می‌یابد. ویژگی‌های الکتروشیمیایی سطح الیاف در هر دو روش توسعه یافته و تعامل بین الیاف و در نتیجه سطح تماس و پیوند بین آن‌ها افزایش می‌یابد. پالایش با تغییراتی که در ساختار الیاف ایجاد می‌کند، موجب افزایش پیوندپذیری آن‌ها می‌شود، اما سبب افزایش درصد نرمه‌های الیاف، کاهش قابلیت آبگیری از سوسپانسیون خمیرکاغذ، و کاهش ماتی کاغذ نیز

[1]- Madani
[2]- Myllytie

می‌گردد (رودی وهمکاران، ۱۳۹۱). همچنین در جریان پالایش، تقریباً همیشه تا حدودی شکستن و کوتاه شدن الیاف بر اثر عمل برشی برآمدگی‌ها و شیارهای دیسک پالاینده پیش می‌آید. شکسته شدن الیاف معمولا پدیده نامناسبی به حساب می‌آید، چون سبب کُندی مراحل شستشو و کاهش استحکام الیاف می‌شود (میرشکرایی، ۱۳۸۲). یکی دیگر از راه‌های افزایش مقاومت کاغذ استفاده از مواد افزودنی، افزاینده مقاومت تر و خشک می‌باشد. نشاسته کاتیونی به دلیل دارا بودن پلیمرها، نقش کاتیونی مؤثرتر و قوی‌تری داشته و از سایر افزودنی‌ها بهتر عمل کرده و علاوه بر نقش تکمیلی در نگهداری مواد دوغاب، آبگیری را نیز بهبود می‌بخشد (جلالی‌ترشیزی و همکاران، ۱۳۸٦). مشکل عمده این افزودنی‌ها ماندگاری بسیار کم می‌باشد. همچنین از نظر اقتصادی و زیست محیطی نامطلوب می‌باشد. این مواد سبب به وجود آمدن مشکلات فرآیندی و حتی تغییر در خواص کاغذهای تهیه شده می‌شوند (پورچنگیز،۱۳۹۲). بنابراین پژوهش‌های گسترده‌ای برای بهبود خواص کاغذ با استفاده از تقویت کننده‌های سازگار با محیط زیست در حال انجام است. نانوسلولز فرآوری شده از مواد اولیه لیگنوسلولزی تجدیدپذیر می‌تواند به لحاظ فرآیند تولید، انرژی مصرفی و مسائل زیست‌محیطی قابل توجه و مفید باشد (جعفری پطرودی و همکاران، ۱۳۹۲). یکی از راه‌کارهای مناسب در بهبود خواص مقاومتی این نوع از کاغذها استفاده از تقویت کننده‌ها، از جمله نانوساختارهای سلولزی است (افرا و همکاران، ۱۳۹۲).

۱-۳ فناوری نانو

امروزه یکی از فناوری‌هایی که مقبولیت و جاذبه خاصی در میان جامعه علمی پیدا کرده و باعث بهبود خواص و ویژگی‌های مواد شده، نانوفناوری است. فناوری نانو واژه‌ای است کلی که به تمام فناوری‌های پیشرفته در عرصه کار با مقیاس نانو اطلاق می‌شود. معمولاً منظور از مقیاس نانوابعادی در حدود ۱ تا ۱۰۰ نانومتر می‌باشد که در چنین مقیاسی مشخصه‌های منحصربه‌فرد مواد، موجب پیدایش کاربردهای نوینی می‌شوند. در این مقیاس خواص فیزیکی، شیمیایی و زیستی مواد با خواص تک تک اتم، مولکول‌ها و یا خواص توده ماده کاملاً متفاوت است (پکاست[1]، ۲۰۰۸). نسبت سطح به حجم بالای نانومواد یکی از مهم‌ترین خصوصیات مواد تولید شده در مقیاس نانویی است. در این مقیاس رفتار سطوح بر رفتار توده‌ایی ماده غالب می‌شود.

[1]- Pcast

تکنولوژی نانو به عنوان مهم‌ترین دستاورد نوین بشری در توسعه و بهبود کیفیت و کارایی در زمینه‌های مختلف مطرح می‌باشد. صنعت کاغذ نیز از این قائده مستثنی نبوده، به‌طوری‌که کاربرد مواد نانویی در این صنعت به طور گسترده مشاهده می‌شود. نانوتکنولوژی در صنعت خمیر و کاغذ مربوط به فرآوری نانومواد سلولزی و استفاده از نانومواد معدنی و استفاده از نانوکاغذهای پلیمری جهت پوشش‌دهی و... است. اولین و مهمترین ماده نانویی که اکنون هم مورد استفاده قرار می‌گیرد، نانو سلیکای سل[1] آنیونی می‌باشد که به همراه پلی‌مرهای کاتیونی مانند نشاسته و یا پلی‌اکریل‌آمید به کار می‌رود (واگبرگ[2]،۱۹۹۹).

کاربردهای فناوری نانو در صنایع خمیر کاغذ به طور اختصار عبارتند از: اندودهای ممانعت کننده، بسته بندی هوشمند، نانو زیست‌شناسی، چاپ افشان و لیزری، جوهرهای چاپ و دیگر مواد شیمیایی، نانو چندسازه[3]، نانوحسگرها، پرکننده‌های نانوساختاری، کاغذهای ویژه و نانوالیاف.

۱-۳-۱ نانوالیاف سلولزی

نانوالیاف به‌عنوان یکی از موارد کاربردی فوق به منظور تقویت و اصلاح محصولات کاغذی، چوبی و پلیمری استفاده می‌شود. نانو الیاف با توجه به منشاء سلولز، روش تهیه و ابعاد آن می‌تواند خصوصیات متفاوتی داشته باشد که این خصوصیات در صورت استفاده به عنوان تقویت کننده در تولید یک فرآورده از طریق میزان تغییر ویژگی‌های آن فرآورده مشخص خواهد شد؛ ضمن اینکه خصوصیات نانوالیاف اولیه نیز از طریق آزمون‌های مشخصی قابل ارزیابی می‌باشد.

نانوفیبرسلولز (CNF) چهار نوع عمده دارد که یک نوع آن سلولز میکروفیبریله‌شده (MFC) یا سلولز نانوفیبریله‌شده (NFC) می‌باشد. اصطلاح MFC مربوط به سال ۱۹۸۳ است. در این زمان نانوتکنولوژی به خوبی شناخته‌شده نبود، درنتیجه توربک[4] که سلولز با ابعاد نانو را از طریق همگن‌سازی ابداع کرد، آن را MFC نامید. اما اکنون بهتر است که از واژه NFC استفاده شود.
نانوفیبریل سلولز چهار نوع اصلی دارد:

[1]- Nano silica sol
[2]- Wagberg
[3]- Nano Composite
[4]- Turbak

۱- نانو ویسکرسلولز (CNW)
۲- سلولز نانوفیبریله‌شده (NFC)
۳- تابیدن الکتریکی سلولز (ESC)[۱]
٤- سلولز باکتریایی (BC)[۲]

نانوفیبر سلولز (CNF) می‌تواند از طریق هیدرولیز اسیدی به نانو ویسکرسلولز (CNW) با نسبت ظاهری کم[۳] (L/D)، یا از طریق فیبریله‌شدن مکانیکی به سلولز میکروفیبریله‌شده (MFC) یا سلولز نانوفیبریله‌شده (NFC) با نسبت ظاهری زیاد تبدیل شود (یوسفی و همکاران، ۱۳۷۸). در نانوکامپوزیت‌ها، سلولز چوب به شکل سلولز میکروکریستال (MCC) یا به شکل سلولز نانوفیبریله‌شده (NFC) به کار می‌رود (هنریکسون[٤]، ۲۰۰۸).

پژوهش‌گران در سال‌های اخیر با تهیه‌ی نانوساختارهای سلولزی نظیر نانوویسکرسلولز و سلولز نانوفیبریله‌شده و با افزودن مقدار اندکی از آن‌ها به نانوکامپوزیت‌ها، به مقادیر بالایی در ویژگی‌های مقاومتی رسیدند. به علاوه تحقیقات نشان داده که افزودن NFC به سوسپانسیون خمیر موجب بهبود خواص فیزیکی، ممانعتی و مقاومتی کاغذ می‌گردد (آهولا[٥] و همکاران،۲۰۰۸). بهبود چشم‌گیر در مقاومت‌ها در این واقعیت نهفته است که نانو فیبرهای‌سلولزی نسبت سطح به حجم بسیار زیادی دارند و به‌علاوه با کوچک‌ترکردن سلولز و رساندن آن به ابعاد نانومتری در واقع تعداد نقاط ضعف موجود در این ماده (عمدتاً نواحی آمورف) کم‌تر شده و نیز کریستالیته آن‌ها افزایش می‌یابد (سیورود[٦] و استنیوس[۷]، ۲۰۰۹). افزایش سطح ویژه‌ی نانو فیبرهای سلولزی به این معناست که تعداد گروه‌های هیدروکسیل که در سطح قرار می‌گیرند و آماده‌ی تشکیل پیوند هیدروژنی با گروه هیدروکسیلی سطح مجاور خود می‌شوند، بیشتر می‌شوند. از عوامل دیگری که موجب اثر تقویت‌کنندگی زیاد نانو فیبرهای سلولزی می‌شود، داشتن نسبت ظاهری زیاد این نانو ماده است. البته

1- Electrospining cellulose
2- Bacterial cellulose
3- Aspect ratio
4- Henriksson
5-Ahola
6- Syverud
7- Stenius