



The comparison of coated paper properties with cellulose nanofiber-zinc nanooxide and starch-zinc nanooxide

Mohammad Reza Dehghani Firouzabadi^{1*}  | Meysam Aliabadi² 

1. Assoc., Prof., Department of Paper Science and Engineering, Faculty of Wood and Paper Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources (GUASNR), Gorgan, I.R. Iran. Email: mdehghani@gau.ac.ir

2. Ph.D. Candidate, Department of Paper Science and Engineering, Faculty of Wood and Paper Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources (GUASNR), Gorgan, I.R. Iran. Email: meysam.aliabadi@gmail.com

ARTICLE INFO

Article type:
Research Article

Article History:

Received 17 November 2022

Revised 20 December 2022

Accepted 24 December 2022

Published 01 March 2023

Keywords:

Packaging,

Coating,

Starch,

Zinc nanooxide,

Cellulose nanofiber.

ABSTRACT

Today, paper is being increasingly used in the packaging industry all over the world due to environmental issues, recyclability and printability. Accordingly, researchers and producers are seeking for solutions to solve the disadvantages of paper used for packaging food products. The coating is a method of enhancing the barrier and mechanical properties of paper. Also, to preserve food against microbial agents, antibacterial substances are used in the composition of coating materials. In the present study, starch, cellulose nanofiber, starch-zinc nanooxide, and cellulose nanofiber-zinc nanooxide were used as coating treatments. The results showed that using cellulose nanofiber and starch with zinc nanooxide will result in improved mechanical and barrier properties of paper. Burst strength, air permeability, and water vapor transmission rate (WVTR) showed the best results after coating the papers with cellulose nanofiber-zinc nanooxide compound. Tear strength showed the best result after coating the paper with cellulose nanofiber. The coated papers by starch and the coated papers by cellulose nanofiber-zinc nanooxide compound showed the highest and lowest water absorption, respectively. Adding zinc nanooxide to the coating material resulted in improved antimicrobial and antipathogenic against *Escherichia coli* and *Staphylococcus aureus* bacteria properties of the paper. According to the results, paper coated with a combination of cellulose nanofibers and zinc nanooxide was selected as the best treatment.

Cite this article: Dehghani Firouzabadi, M. R., Aliabadi, M. (2023). The comparison of coated paper properties with cellulose nanofiber-zinc nanooxide and starch-zinc nanooxide. *Journal of Forest and Wood Product*, 75 (4), 377-386. DOI: <http://doi.org/10.22059/jfwpp.2022.351291.1223>.



© The Author(s).

DOI: <http://doi.org/10.22059/jfwpp.2022.351291.1223>

Publisher: University of Tehran Press.



انتشارات دانشگاه تهران

نشریه جنگل و فرآورده‌های چوب

شاپا الکترونیکی: ۰۵۳۰-۲۳۸۳

سایت نشریه: <https://jfwp.ut.ac.ir>

مقایسه ویژگی‌های کاغذهای پوشش داده‌شده با نانوالیاف سلولزی - نانواکسید روی و نشاسته - نانواکسید روی

محمد رضا دهقانی فیروزآبادی^{۱*} | میثم علی‌آبادی^۲

۱. دانشیار، گروه علوم و مهندسی کاغذ، دانشکده مهندسی چوب و کاغذ، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران. رایانامه: mdehghani@gau.ac.ir
۲. دانشجوی دکتری، گروه علوم و مهندسی کاغذ، دانشکده مهندسی چوب و کاغذ، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران. رایانامه: meysam.aliabadi@gmail.com

اطلاعات مقاله

چکیده

نوع مقاله:

پژوهشی

تاریخ‌های مقاله:

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۸/۲۶

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۰۹/۲۹

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۰/۰۳

تاریخ انتشار: ۱۴۰۱/۱۲/۱۰

کلیدواژه‌ها:

بسته‌بندی،

پوشش‌دهی،

نانواکسید روی،

نانوالیاف سلولزی،

نشاسته.

استناد: دهقانی فیروزآبادی، محمد رضا؛ علی‌آبادی، میثم (۱۴۰۱). مقایسه ویژگی‌های کاغذهای پوشش داده‌شده با نانوالیاف سلولزی - نانواکسید روی و نشاسته - نانواکسید روی. نشریه جنگل و فرآورده‌های چوب، ۷۵ (۴)، ۳۷۷-۳۸۶.

DOI: <http://doi.org/10.22059/jfwp.2022.351291.1223>

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

© نویسنده‌گان.



DOI: <http://doi.org/10.22059/jfwp.2022.351291.1223>

۱. مقدمه

کاغذ محصولی راهبردی است که کاربردهای مهمی در زندگی انسان دارد. امروزه کاغذ هم در ثبت مکاتبات و صنعت چاپ و تحریر و هم در موارد مختلفی چون صنایع محصولات بهداشتی و صنایع بسته بندی کاربرد زیادی دارد؛ به طوری که در حدود ۴۰ درصد از کل مواد دارای کاربرد در صنعت بسته بندی از مواد سلولزی است [۱، ۲].

مواد سلولزی مانند کاغذ و مقوا به دلیل سازگاری با محیط زیست و زیست تخریب پذیری، قابلیت بازیافت و چاپ پذیری خوب، کاربرد گسترده‌ای در صنعت بسته بندی دارند [۳]. یکی از معایب کاغذ برای بسته بندی، ساختار متخلخل و ویژگی ممانعتی ضعیف آن در برابر گازها و رطوبت است. برای جبران این نقص به طور معمول از یک لایه پلاستیکی یا آلومینیومی به عنوان پوشش روی کاغذ استفاده می شود. بدیهی است که استفاده از پوشش پلاستیکی سبب کندی بسیار در تجزیه آن می شود. به همین دلیل استفاده از مواد زیست تخریب پذیر برای پوشش دهی کاغذ در حال گسترش است. این مواد شامل نشاسته، نانوسولز، پروتئین سویا، گلوتن گندم، کیتوزان و ... هستند. پوشش های پلی ساکاریدی کاغذ، به دلایلی چون بهبود ممانعت در برابر گازها و همچنین اثر مثبت بر ویژگی های مکانیکی کاغذ بسته بندی، امیدوارکننده ظاهر شده اند [۴-۶]. نانوالیاف سلولزی از گیاهان چوبی و غیرچوبی توسط یک فرایند مکانیکی (یا بعد از یک تیمار شیمیایی یا آنزیمی) تولید می شوند. قطر آنها به طور معمول بین ۲۰ تا ۵۰ نانومتر است و طول آنها به چند میکرومتر می رسد [۷]. افرا و همکاران گزارش کرده اند که در اثر استفاده از نانوفیبریل های سلولزی به صورت یک لایه روی کاغذ، مقاومت ورقه ها به طور معنی داری افزایش و نفوذپذیری هوا کاهش می یابد. تصاویر میکروسکوپ الکترونی نشان داده است که لایه نانوالیاف سلولزی به دلیل ساختار متراکم و شبکه ای ایجاد شده توسط فیبریل ها تخلخل را کاهش می دهد و در نتیجه ویژگی های ممانعتی و مکانیکی بهبود می یابد [۸].

نشاسته ماده ای به نسبت ارزان، تجدیدپذیر، زیست تخریب پذیر و در دسترس است. در سال ۲۰۱۸ تولید این ماده در اروپا حدود ۱۰/۷ میلیون تن برآورد گردید [۹]. نشاسته کاتیونی به دلیل وجود پیوند الکترواستاتیکی بین بار مثبت زنجیر نشاسته کاتیونی که از گروه های مختلف با بار مثبت مانند آمینو، آمونیوم، سولفونیوم و ... ایجاد شده و بار منفی ماده زمینه سلولزی، برای پوشش دهی مطلوب است [۱۰]. براساس گزارش کایراس و همکاران (۲۰۰۸) استفاده از نشاسته به همراه پرکننده های نانومواد معدنی سبب بهبود مقاومت کششی و ممانعت در برابر گازها می شود که به دلیل پراکندگی و پخش شدن این پرکننده ها در نشاسته است [۱۱]. آلودگی میکروبی ماندگاری ماده غذایی را کاهش می دهد و موجب خطر ابتلا به بیماری های ناشی از مصرف غذا می شود. به همین دلیل تحقیقات زیادی در زمینه بسته بندی های حاوی عوامل آنتی باکتریال انجام گرفته است. ترکیب ساختاری کاغذ اغلب متشکل از مواد سلولزی است که این مواد به طور ذاتی ویژگی ضدباکتری ندارند. به همین منظور، از مواد ضدباکتری می توان در ترکیب با پوشش کاغذ بسته بندی استفاده کرد. این مواد شامل عصاره های گیاهی، نانونقره، نانواکسید روی و ... است [۴، ۱۲]. در بین مواد معدنی دارای ویژگی ضدباکتری، دی اکسید تیتانیوم، منیزیم دی اکسید و نانواکسید روی برای انسان و حیوانات ایمن اند. نانوذرات اکسید روی، پرکننده هایی اند که در کنار ارزانی، به دلیل قابلیت هایی همانند شفافیت در ناحیه مرئی، جذب نور مناسب، ضریب ثابت دی الکتریک و خواص شیمیایی و فیزیکی پایدار به طور گسترده ای استفاده می شوند [۱۳]. افزون بر این، براساس گزارش های اخیر تولید پراکسید هیدروژن از سطح نانوذرات اکسید روی سبب آنتی باکتریال شدن آن می شود. نانواکسید روی افزون بر دارا بودن ویژگی ضدباکتری، به همراه ماده زمینه (پلی ساکارید)، پوشش خوبی روی کاغذ ایجاد می کند [۱۴].

باکتری استافیلوکوکوس اورئوس^۱ یکی از مهم ترین علل بیماری های مرتبط با مصرف مواد غذایی در جهان است. در طول دهه های گذشته، استافیلوکوکوس اورئوس عامل ۲۵ درصد بیماری های مرتبط با غذا در ایالات متحده آمریکا بوده است. گزارش شده است که این باکتری به همراه باکتری اشرشیاکلی^۲ ممکن است در غذاهایی مانند شیر، محصولات لبنی دیگر، سبزی و گوشت های تخمیری خام یافت شود. این باکتری ها می توانند از طریق شیر و سایر مواد لبنی، آب آلوده و نیز گوشت به انسان منتقل و سبب ایجاد بیماری هایی شوند [۱۵].

در این تحقیق اثر استفاده از لایه پوششی نشاسته و نانوالیاف سلولزی بر ویژگی‌های ممانعتی و مکانیکی کاغذ بررسی شد. همچنین تأثیر استفاده از نانواکسید روی به‌منزله نوعی ماده آنتی‌باکتریال در ترکیب با لایه پوششی بررسی و نتایج آن ذکر شد.

۲. مواد و روش‌ها

۲.۱. مواد اولیه و آماده‌سازی آنها

ژل نانوالیاف سلولزی (CNF) با قطر ۱۰ تا ۷۰ نانومتر (تهیه‌شده به روش سوپراسیاب دیسکی) از شرکت دانش‌بنیان نانونین پلیمر تهیه شد. نشاسته کاتیونی از شرکت مرک آلمان و نانواکسید روی با ابعاد ۱۰ تا ۳۰ نانومتر از شرکت آرمینا تهیه شد. از کاغذ چاپ و تحریر ۸۰ گرمی به‌عنوان کاغذ پایه استفاده شد.

برای تهیه محلول نشاسته با غلظت ۵ درصد، ابتدا ۵ گرم نشاسته در ۱۰۰ میلی‌لیتر آب حل شد و با قرار گرفتن در دمای ۹۰ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۳۰ دقیقه به‌طور غیرمستقیم در حمام آب به ژل نشاسته تبدیل شد. محلول ژلاتینه نشاسته پس از سرد شدن آماده مصرف شد [۱].

پودر نانواکسید روی به مقدار ۳ گرم به ۱۰۰ میلی‌لیتر ژل نشاسته و نانوسولز (به‌طور جداگانه) اضافه و با استفاده از همزن مغناطیسی به‌مدت سی دقیقه هم زده شد.

۲.۲. پوشش‌دهی

پوشش‌دهی کاغذها با استفاده از دستگاه Auto Bar coater (GBC – A4 GIST Co. Ltd) ساخت اتریش موجود در آزمایشگاه پوشش‌دهی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان انجام گرفت. بدین منظور روی هر نمونه کاغذ، با استفاده از سرنگ معادل ۱۰ سانتی‌متر مکعب (مقداری که برای پوشش‌دهی کامل کل ورق کاغذ کافی باشد) از محلول پوشش‌دهی در مقابل میله دستگاه به‌طور یکنواخت ریخته شد. با حرکت میله دستگاه با سرعت ۲۵ میلی‌متر بر ثانیه، محلول به‌طور یکنواخت روی کاغذ پخش شد. سپس کاغذهای پوشش‌داده‌شده روی یک صفحه شیشه‌ای با گیره مهار و در محیط آزمایشگاه خشک شدند [۱]. پس از آن نمونه‌ها برای آزمون‌های مورد نظر در شرایط کلیما قرار گرفتند.

۲.۳. اندازه‌گیری ویژگی‌ها

ضخامت کاغذهای دارای پوشش و بدون پوشش مطابق استاندارد T411-om-05 آیین‌نامه TAPPI اندازه‌گیری و دانسیته آنها نیز از رابطه ۱ محاسبه شد.

$$\text{دانسیته کاغذ (g/cm}^3\text{)} = \frac{\text{گراماژ (g/m}^2\text{)}}{\text{ضخامت کاغذ (}\mu\text{)}} \quad (1)$$

آزمون ضدباکتری برای هر دو نوع باکتری گرم منفی (اشرشیا کلی) و گرم مثبت (استافیلوکوکوس اورئوس) و با سه تکرار برای کاغذهای پوشش‌داده‌شده و بدون پوشش انجام گرفت. در آغاز ۰/۰۵ گرم از هر کاغذ در فویل پیچیده شد و به‌منظور استریل شدن در آن تحت دمای ۱۷۰ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۱۲۰ دقیقه قرار گرفت. در این تحقیق از محیط کشت مالت اکستراکت آگار به‌منظور رشد سوش باکتری‌ها استفاده شد. برای این منظور ۳۷ گرم مالت اکستراکت آگار در ۱۰۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر به‌مدت دو ساعت روی همزن مغناطیسی قرار گرفت تا به‌خوبی ترکیب شود. سپس مقدار مورد نظر (۶۰ میلی‌لیتر) به پتری‌دیش‌ها منتقل شد. پتری‌دیش‌ها به‌مدت ۲۴ ساعت در دمای ۳۷ درجه سانتی‌گراد در انکوباتور قرار گرفتند. پس از این زمان، محیط کشت برای رشد باکتری‌ها آماده شد [۱].

به‌منظور فعال‌سازی سوش باکتری‌های مورد نظر به‌صورت جداگانه به‌مدت ۲۴ ساعت در دمای ۳۷ درجه سانتی‌گراد روی محیط کشت جامد کشت داده شدند تا رشد باکتری‌ها کامل شود. مقداری از باکتری‌های رشدیافته با استفاده از لوپ به محیط کشت مایع انتقال داده شد و به‌مدت ۲۴ ساعت در انکوباتور قرار گرفت. محیط کشت مایع استفاده‌شده در این آزمون از نوع برات BHIB بود. برای آماده‌سازی این محیط کشت، ۳۷ گرم از BHIB به ۱۰۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر اضافه شد و پس از یکنواخت

شدن محلول روی حرارت و شفاف شدن محیط کشت مایع، ۵ میلی لیتر از محیط کشت به هر یک از لوله‌های آزمایش انتقال یافت. سپس لوله‌های حاوی محیط کشت با استفاده از اتوکلاو در دمای ۱۲۰ درجه سانتی‌گراد و فشار بخار ۱۵ پوند به مدت ۱۵ دقیقه استریل شدند.

پس از گذشت دوره نهفتگی باکتری‌ها، غلظت باکتری‌ها به نیم مک‌فارلند (تعداد تقریبی باکتری‌ها حدود $10^8 \times 1/5$) رسانده شد. پس از انتقال نمونه‌های مختلف کاغذ به داخل لوله‌های حاوی محیط کشت استریل، ۵۰ میکرولیتر از سوسپانسیون باکتری تهیه شده با استفاده از نمونه‌گیر به هر لوله اضافه شد و به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۳۷ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت. سپس فعالیت ضدباکتریایی در طول موج ۶۰۰ نانومتر اندازه‌گیری شد و درصد بازدارندگی نمونه‌ها با استفاده از رابطه ۲ محاسبه شد.

$$\text{بازدارندگی (\%)} = [(ODB - ODS) / ODB] \times 100 \quad (2)$$

در این رابطه ODB مقدار جذب نور نمونه کنترل و ODS مقدار جذب نور نمونه آزمایش شده است.

مقاومت به عبور هوا براساس استاندارد شماره T460-om-02 آیین‌نامه TAPPI و با استفاده از دستگاه Automatic 4320 Genuine Gurley Digital Timer برای سه نقطه از هر کاغذ، مقدار جذب آب نمونه‌ها براساس روش Cobb و طبق استاندارد شماره T441-om-96 آیین‌نامه TAPPI و سرعت عبور بخار آب (WVTR) مطابق استاندارد شماره T448-om-09 آیین‌نامه TAPPI اندازه‌گیری شد.

برای اندازه‌گیری مقاومت به ترکیدن و مقاومت به پارگی به ترتیب از استانداردهای T403-om-02 و T414-om-98 آیین‌نامه TAPPI استفاده و برای تبدیل شاخص هر یک، اعداد به دست آمده بر وزن پایه کاغذها تقسیم شد.

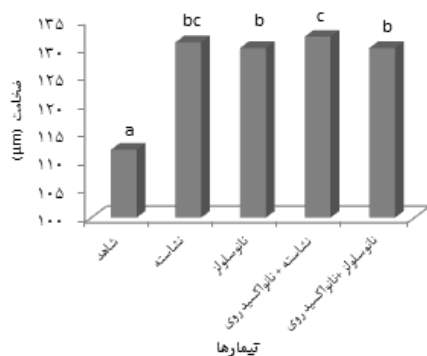
۴.۲. تجزیه و تحلیل آماری

آنالیز آماری این تحقیق با استفاده از نرم‌افزار SPSS 21 انجام گرفت و از طرح کاملاً تصادفی و آنالیز واریانس یک طرفه استفاده شد. میانگین‌ها به کمک آزمون دانکن و در سطح اطمینان ۹۵ درصد گروه‌بندی شدند.

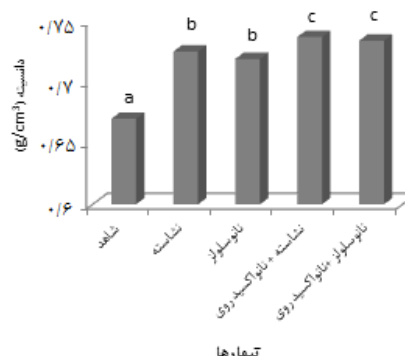
۳. نتایج و بحث

دانشیته تابعی از گراماژ و ضخامت تعریف می‌شود. با فرض ثابت بودن وزن پایه، کاغذهای با ضخامت کمتر به دلیل فشرده و متراکم شدن و اتصال بیش‌تر بین الیاف، خواص مقاومتی بهتری خواهند داشت. شکل‌های ۱، ۲ و ۳ به ترتیب دانشیته، ضخامت و وزن پوشش کاغذهای پوشش داده شده و بدون پوشش را نشان می‌دهند. بیش‌ترین دانشیته مربوط به کاغذ با پوشش نشاسته و نانوآکسید روی و کم‌ترین دانشیته مربوط به کاغذ بدون پوشش است. آزمون دانکن نیز میانگین مقادیر دانشیته را در سه گروه مختلف قرار داد؛ به طوری که کاغذ بدون پوشش در یک گروه، کاغذ با پوشش نشاسته و نانوالیاف سلولزی در یک گروه و کاغذهای حاوی نانوآکسید روی در گروه دیگر قرار گرفتند.

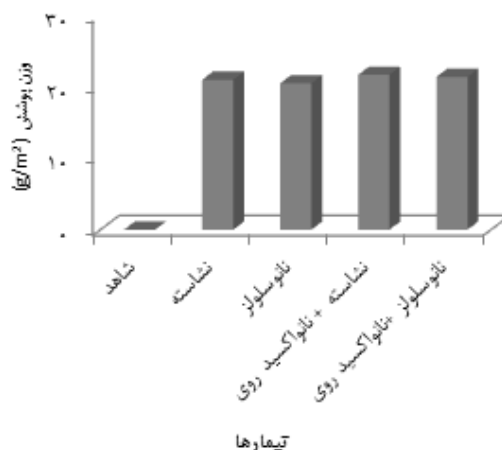
ضخامت کاغذها نیز با اضافه شدن یک لایه پوششی افزایش یافت. ضخامت کاغذ با پوشش نشاسته و نانوآکسید روی، بیش‌ترین مقدار و ضخامت کاغذ بدون پوشش، کم‌ترین مقدار را داشت. آزمون دانکن میانگین مقادیر ضخامت را در سه گروه قرار داد.



شکل ۲. ضخامت کاغذهای با و بدون پوشش

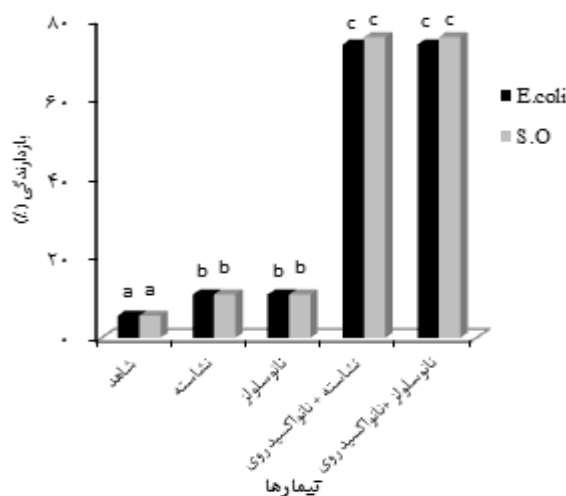


شکل ۱. دانشیته کاغذهای با و بدون پوشش



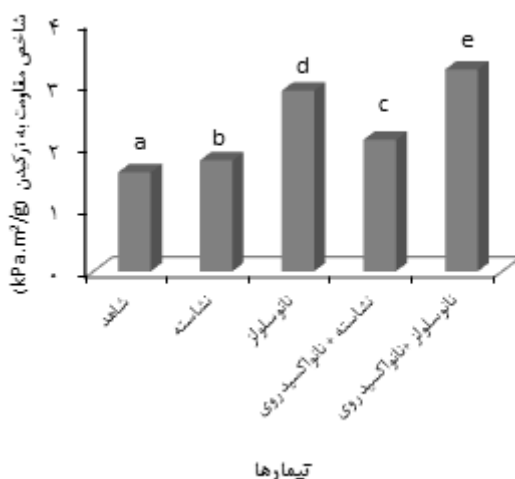
شکل ۳. وزن پوشش در کاغذهای مختلف

وزن پوشش کاغذها نیز با اضافه شدن نانواکسید روی در ترکیب ماده پوشش‌دهی کمی افزایش یافت. بدین ترتیب که کاغذهای پوشش‌دهی‌شده با نشاسته، نانوالیاف سلولزی، نشاسته- نانواکسید روی و نانوالیاف سلولزی- نانواکسید روی به ترتیب وزن پوششی معادل ۱۹، ۱۸، ۲۱/۵ و ۲۰ گرم بر متر مربع داشتند. به نظر می‌رسد دانسیته بیش‌تر نانواکسید روی (۵/۶۰۶ گرم بر سانتی‌متر مکعب) نسبت به کاغذ و دیگر مواد پوشش‌دهی استفاده‌شده در این تحقیق دلیل اصلی این موضوع باشد. نتایج آزمون آنتی‌باکتریال در شکل ۴ مشاهده می‌شود. آنالیز آماری نشان داد که اختلاف بین تیمارهای مختلف معنی‌دار است. اختلاف بین کاغذهای با و بدون نانواکسید روی نشان‌دهنده اثر مثبت نانواکسید روی بر ویژگی آنتی‌باکتریال در هر دو نوع باکتری آزمون‌شده است. نتایج تحقیق گوله و همکاران (۲۰۰۶) نیز نشان داد که نانواکسید روی تأثیر مثبتی بر کاغذ پوشش‌داده‌شده با این ماده دارد [۱۴]. تحقیق پراساد و همکاران (۲۰۱۰) نیز اثر معنی‌دار نانواکسید روی بر فعالیت ضدقارچی کاغذهای پوشش‌داده‌شده با نشاسته و نانواکسید روی را تأیید کرد [۱۶]. فعالیت ضدباکتریایی ممکن است سبب تجمع این نانوذرات در غشای بیرونی یا سیتوپلاسم سلول‌های باکتریایی و انتشار روی شود که جدا شدن غشای سلول باکتریایی، آسیب‌دیدگی پروتئین غشایی و بی‌ثباتی ژنومی و در نتیجه مرگ سلول‌های باکتریایی را در پی دارد [۱۷]. ما و همکاران (۲۰۱۶) نیز نشان دادند که ترکیب نشاسته و نانواکسید روی بر رشد باکتری‌های کاغذهای پوشش‌داده‌شده با این مواد مؤثر است [۱۳].



شکل ۴. درصد بازدارندگی کاغذهای با و بدون پوشش

شاخص ترکیدن از مقاومت‌هایی است که بیشتر تحت تأثیر اتصال بین الیاف قرار دارد. هرچه الیاف نازک‌تر یا انعطاف‌پذیرتر باشند، به دلیل ایجاد اتصالات هیدروژنی بیشتر، پیوند بین الیاف و در نتیجه مقاومت به ترکیدن افزایش می‌یابد. شکل ۵ مقاومت به ترکیدن نمونه‌های مختلف را نشان می‌دهد. مشاهده می‌شود که بیش‌ترین مقاومت به ترکیدن مربوط به کاغذ پوشش داده شده با نانوفیبریل سلولز و نانواکسید روی و کمترین آن مربوط به کاغذ بدون پوشش است. نتایج تجزیه و تحلیل آماری نیز اختلاف معنی‌داری را بین تیمارهای مختلف نشان داد و آزمون دانکن آنها را در پنج گروه مختلف تقسیم کرد. استفاده از نشاسته و نانوالیاف سلولزی به خصوص نانوالیاف سلولزی به دلیل ایجاد پیوند هیدروژنی و درهم‌رفتگی مکانیکی آنها با الیاف کاغذ سبب افزایش مقاومت به ترکیدن شده است. همچنین نشاسته و نانوالیاف سلولزی با پر کردن فضای بین سلولی سبب نزدیک شدن الیاف سلولزی کاغذ به یکدیگر و افزایش مقاومت شده‌اند. یکی دیگر از علل افزایش مقاومت کاغذهای پوشش داده شده با ماده پوششی و نانواکسید روی را می‌توان به پیوندهای هیدروژنی و کووالانسی بین گروه‌های هیدروکسیل کاغذ با نانواکسید روی نسبت داد که ممکن است سبب بهبود پیوندهای بین مولکولی بین کاغذ و ترکیب پوشش‌دهی شود [۱۷]. نتایج پژوهش اختری و همکاران (۲۰۱۹) نیز نشان داد که کاغذ پوشش داده شده با نشاسته و نانوسلنیوم نسبت به کاغذ بدون پوشش، مقاومت بیشتری به ترکیدن دارد [۱]. صدیقی و همکاران (۲۰۱۹) نیز در پژوهشی نشان دادند که مقاومت به ترکیدن کاغذهای پوشش داده شده با پلی‌کاپرولاکتون، نانوسلولز و نانواکسید روی در مقایسه با کاغذ بدون پوشش افزایش یافت [۱۷].

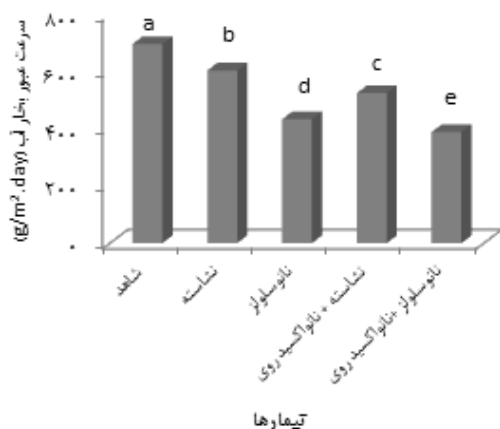


شکل ۵. شاخص مقاومت به ترکیدن در نمونه‌های مختلف

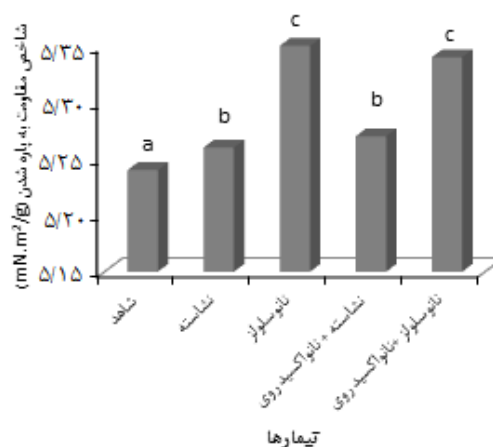
مقاومت به پارگی، بیش‌تر تحت تأثیر طول الیاف است و به مقاومت بین الیاف و مقاومت تک‌تک الیاف نیز بستگی دارد [۱]. شکل ۶ نشان می‌دهد که بیش‌ترین مقاومت به پاره شدن مربوط به کاغذ پوشش داده شده با نانوالیاف سلولزی (بدون نانواکسید روی) و کم‌ترین مقدار مربوط به کاغذ بدون پوشش است. آنالیز آماری (آزمون دانکن) میانگین مقادیر کاغذ بدون پوشش و کاغذ با پوشش نشاسته و نانواکسید روی را در دو گروه مختلف قرار داد، اما اختلاف بین آنها بسیار کم است که نشان می‌دهد مقاومت به پاره شدن، بیش‌تر تحت تأثیر طول الیاف است. افزودن نانوالیاف سلولزی به سطح کاغذها سبب افزایش بیش‌تر مقاومت به پاره شدن شده است که دلیل آن افزایش پیوند بین الیاف است.

سلولز، بسیاری آب‌دوست و با ظرفیت جذب آب زیاد است. اما هنگام تبدیل شدن به ذرات نانو، شبکه‌ای بسیار متراکم و بسته از الیاف پدید می‌آید که سرعت عبور مولکول‌های آب از آن بسیار کند می‌شود [۱۸]. همان‌طور که در شکل ۷ مشاهده می‌شود، بیش‌ترین سرعت عبور بخار آب مربوط به کاغذ بدون پوشش و کم‌ترین سرعت مربوط به کاغذ پوشش داده شده با نانوالیاف سلولزی و نانواکسید روی است. یکی از دلایل این کاهش ایجاد ساختار متراکم روی کاغذ و دلیل دیگر در کاغذهای پوشش داده شده با نشاسته، خنثی شدن الیاف آنیونی کاغذ در برقراری ارتباط با مولکول‌های کاتیونی این ماده است [۱]. نانواکسید روی در هر دو کاغذ پوشش داده شده با نشاسته و نانوالیاف سلولزی سبب کاهش سرعت عبور بخار آب شده که ناشی از پر شدن

بیش تر خلل و فرج کاغذهاست. به لحاظ آماری، اختلاف بین کاغذهای مختلف پوشش داده شده و بدون پوشش معنی دار است و آزمون دانکن آنها را در پنج گروه مختلف تقسیم کرد. نتایج تحقیق هررا و همکاران (۲۰۱۷) نشان داد که استفاده از نانوسلولز در پوشش دهی کاغذ سبب کاهش سرعت عبور بخار آب می شود [۳]. میرمهدی و همکاران (۲۰۱۸) در تحقیق خود اثر افشاندن نانوالیاف سلولز روی کاغذ را بررسی کردند و به این نتیجه رسیدند که سرعت عبور بخار آب در کاغذهای پوشش داده شده از کاغذهای شاهد کمتر است [۱۸]. هی و همکاران (۲۰۲۰) نیز گزارش کردند که استفاده از کربوکسی متیل سلولز و نانوسلولز به عنوان پوشش کاغذ سبب بهبود این ویژگی می شود [۴].

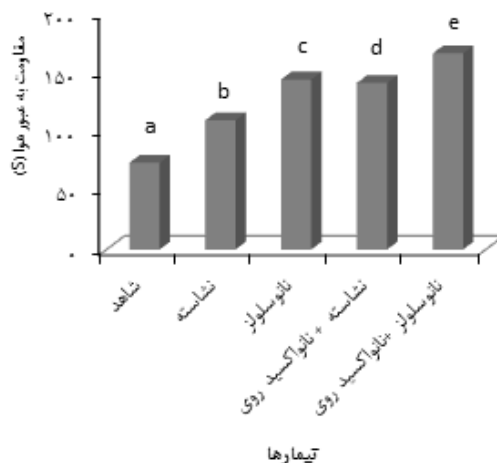


شکل ۷. سرعت عبور بخار آب در کاغذهای مختلف



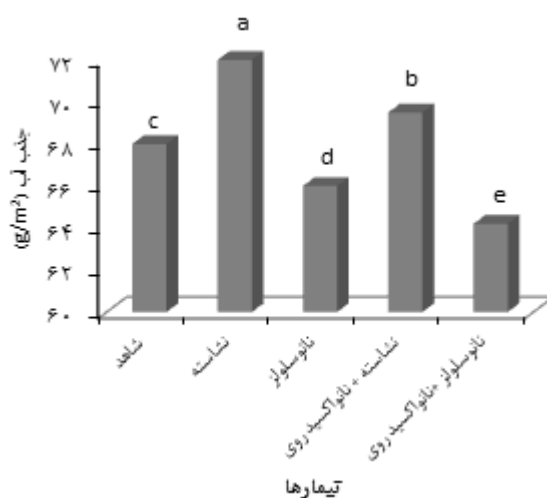
شکل ۶. شاخص مقاومت به پاره شدن در کاغذهای مختلف

در شکل ۸ مشاهده می شود که مقاومت به عبور هوا در کاغذ بدون پوشش کمترین حد و در کاغذ پوشش داده شده با نانوالیاف سلولزی و نانواکسید روی بیشترین حد است. دلیل آن ایجاد لایه‌ای متراکم روی کاغذ است که مانع خوبی در برابر عبور هوا شده است. آنالیز تجزیه واریانس نیز نشان داد که اختلاف بین نمونه‌های مختلف کاغذ معنی دار است. آزمون دانکن آنها را در پنج گروه مختلف تقسیم کرد. گیکوئل و همکاران (۲۰۱۷) در تحقیق خود نشان دادند که استفاده از نانوکریستال سلولز به عنوان پوشش کاغذ موجب بهبود ویژگی‌های مکانیکی و ممانعتی کاغذها شده است. آنان به این نتیجه رسیدند که استفاده از این ماده سبب مقاومت کاغذ در برابر عبور گازها و هوا شده است [۱۹]. یافته‌های پژوهش واعظی و همکاران (۲۰۱۹) نیز نتایج مشابهی را در زمینه بهبود ویژگی‌های مکانیکی و ممانعتی کاغذ پوشش داده شده با نانوسلولز و نشاسته نشان داد [۲۰]. افرا و همکاران (۲۰۱۶) نیز در تحقیق خود به این نتیجه رسیدند که ایجاد یک لایه سلولز نانوفیبریل شده روی کاغذ سبب جلوگیری از عبور هوا شده است [۸].



شکل ۸. مقاومت به عبور هوا در نمونه‌های مختلف

همان‌طور که در شکل ۹ مشاهده می‌شود کاغذ پوشش داده شده با نشاسته بیش‌ترین و کاغذ پوشش داده شده با نانوالیاف سلولزی و نانواکسید روی کم‌ترین جذب آب را دارد. جذب آب کاغذ بدون پوشش از کاغذهای پوشش داده شده با نشاسته کم‌تر و از کاغذهای پوشش داده شده با نانوالیاف سلولزی بیشتر است؛ زیرا نشاسته جذب آب بیش‌تری نسبت به کاغذ دارد. نتایج آنالیز تجزیه و آرایانس نیز نشان داد که اختلاف بین کاغذهای مختلف معنی‌دار است و آزمون دانکن آنها را در پنج گروه مختلف قرار داد. نشاسته کاتیونی نوعی بسیار آب دوست است که با الیاف کاغذ پیوند هیدروژنی برقرار می‌کند. در نتیجه جذب آب این کاغذها از کاغذ شاهد بیش‌تر است؛ اما استفاده از نانواکسید روی همراه با نشاسته، به دلیل پر کردن خلل و فرج، مقدار جذب آب را کاهش داد [۱]. در خصوص کاغذهای پوشش داده شده با نانوالیاف سلولزی به دلیل ایجاد لایه‌ای متراکم روی کاغذ، مقدار جذب آب کاهش یافت. همچنین به دلیل پر شدن خلل و فرج توسط نانواکسید روی، جذب آب کاغذهای پوشش داده شده با نانوالیاف سلولزی و نانواکسید روی به کم‌ترین حد رسید. نتایج تحقیق واعظی و همکاران (۲۰۱۹) و افرا و همکاران (۲۰۱۶) نیز نشان داد که کاغذهای پوشش داده شده با سلولز نانوفیبریل شده جذب آب کم‌تری از نمونه شاهد دارند [۸، ۲۰].



شکل ۹. میزان جذب آب در کاغذهای با و بدون پوشش

۴. نتیجه‌گیری و پیشنهادها

این تحقیق با هدف بررسی اثر پوشش نانوالیاف سلولزی و نشاسته بر ویژگی‌های ممانعتی و مکانیکی کاغذ و همچنین تأثیر نانواکسید روی بر ویژگی آنتی‌باکتریال کاغذ پوشش داده شده انجام گرفت. نتایج آزمون‌های ممانعتی شامل سرعت عبور بخار آب و مقاومت در برابر عبور هوا نشان داد که کاغذهای پوشش داده شده نسبت به کاغذ بدون پوشش عملکرد بهتری دارند. همچنین، مقاومت به ترکیدن کاغذهای پوشش داده شده از کاغذ بدون پوشش بیش‌تر بود. براساس نتایج آزمون آنتی‌باکتریال نیز از نانواکسید روی می‌توان به عنوان ماده مؤثر ضد میکروب در پوشش‌دهی کاغذ استفاده کرد. استفاده از بسته‌بندی آنتی‌باکتریال می‌تواند موجب افزایش سلامت و عمر ماده غذایی شود و در انتخاب کالا توسط مصرف‌کننده اثرگذار باشد.

References

- [1]. Akhtari, M., Dehghani Firouzabadi, M.R., Aliabadi, M., and Arefkhani, M. (2019). Effect of graphene oxide nanoparticle coatings on the strength of packaging paper and its barrier and antibacterial properties. *Bois et Forêts des Tropiques*, 342: 69-78.
- [2]. Martins, N.C.T., Freire, C.S.R., Pinto, R.J.B., Fernandes, S.C.M., Neto, C.P., Silvestre, A.J.D., Causio, J., Baldi, G., Sadocco, P., and Trindade, T. (2012). Electrostatic assembly of Ag nanoparticles onto nanofibrillated cellulose for antibacterial paper products. *Cellulose*, 19: 1425-1436.
- [3]. Herrera, M., Mathew, A., and Oksman, K. (2017). Barrier and mechanical properties of plasticized and cross-linked nanocellulose coatings for paper packaging applications. *Cellulose*, 24:3969-3980.

- [4]. He, Y., Li, H., Fei, X., and Peng, L. (2020). Carboxymethyl cellulose/cellulose nanocrystals immobilized silver nanoparticles as an effective coating to improve barrier and antibacterial properties of paper for food packaging applications. *Carbohydrate Polymers*, 252: 1-24.
- [5]. Khwaldia, K., Arab-Tehrany, E., and Desobry, S. (2010). Biopolymer coatings on paper packaging materials. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 9(1): 82-91.
- [6]. Nechita, P. (2020). Review on polysaccharides used in coatings for food packaging papers. *Coatings*, 10(6): 566.
- [7]. Garcia, A., Gandini, A., Labidi, J., Belgacem, N., and Bras, J. (2016). Industrial and crop wastes: A new source for nanocellulose biorefinery. *Industrial Crops and Products*, 93: 26-38.
- [8]. Afra, E., Mohammadnezhad, S., and Saraeyan, A. (2016). Cellulose nanofibils as coating material and its effects on paper properties. *Progress in Organic Coatings*, 101(2016): 455-460.
- [9]. Sharma, M., Aguado, R., Murtinho, D., Valente, A., De Sousa, A., and Ferreira, P. (2020). A review on cationic starch and nanocellulose as paper coating components. *International Journal of Biological Macromolecules*, 162:578-598.
- [10]. Xie, Q., Liu, S.W., and Cui, S. (2005). *Food carbohydrates: chemistry, physical properties, and applications*. CRC Press/Taylor and Francis Group, Boca Raton, FL, USA, Pp 357-406.
- [11]. Cyras, V., Manfredi, L., That, M., and Vazquez, A. (2008). Physical and mechanical properties of thermoplastic starch/montmorillonite nanocomposite films. *Carbohydrate Polymers*, 73: 55-63.
- [12]. Nechita, P. (2017). Active-antimicrobial coatings based on silver nanoparticles and natural polymers for paper packaging functionalization. *Nordic Pulp & Paper Research Journal*, 32(3): 452-458.
- [13]. Ma, X., Zhu, W., Tian, Y., and Wang, Z. (2016). Preparation of zinc oxide-starch nanocomposite and its application on coating. *Nanoscale Research Letters*, 11: 1-9.
- [14]. Ghule, K., Ghule, A., Chen, B., and Ling, Y. (2006). Preparation and characterization of ZnO nanoparticles coated paper and its antibacterial activity study. *Green Chemistry*, 8: 1034-1041.
- [15]. Amin, M., Nikoopour, H., and Fazeli, M.R. (2018). A survey of antibacterial effects of *oliveria decumbens* and *Nepeta binaludensis* essential oils on *Staphylococcus aureus* and *Escherichia coli* in doogh. *Journal of Medicinal Plants*, 69(1): 134-143. (In Persian).
- [16]. Prasad, V., Shaikh, A., Kathe, A., Bisoyi, D., and Verma, A. (2010). Functional behaviour of paper coated with zinc oxide-soluble starch nanocomposites. *Journal of Materials Processing Technology*, 210(2010): 1962-1967.
- [17]. Sodeifi, B., Nazarnezhad, N., and Sharifi, S.H. (2019). Investigation on mechanical and optical properties of papers coated with polycaprolactone - nanocrystalline cellulose - zinc oxide nanoparticle. *Iranian Journal of Wood and Paper Science Research*, 34(1): 27-38. (In Persian).
- [18]. Mirmehdi, S.M., de Oliveira, M., Hein, P., Dias, M., Sarantopoulos, C., and Tonoli, G. (2018). Spraying cellulose nanofibrils for improvement of tensile and barrier properties of writing & printing (w&p) paper. *Journal of Wood Chemistry and Technology*, 38(3): 233-245.
- [19]. Gicquel, E., Martin, C., Yanez, J. G., and Bras, J. (2017). Cellulose nanocrystals as new bio-based coating layer for improving fiber-based mechanical and barrier properties. *Journal of Materials Science*, 52(6):3048-3061.
- [20]. Vaezi, Kh., Asadpour, Gh., and Sharifi, S.H. (2019). Effect of coating with novel bionanocomposites of cationic starch/cellulose nanocrystals on the fundamental properties of the packaging paper. *Polymer Testing*, 80:1-11.