تأثیر افزودن نانو الیاف سلولزی و کیتوزان به فرمولاسیون پوشش رنگ‌دانه‌ای بر ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی تست لاینر

عماد جاوید[۱]
محمد آزادفلاح[۲*]
یحیی همزه[۳]

[۱] دانشجوی دکتری، گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی، دانشکدگان کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، ایران

[۲] دانشیار، گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی، دانشکدگان کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، ایران

[۳] استاد، گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی، دانشکدگان کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، ایران

مسئول مکاتبات:
adfallah@ut.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۱/۰۹
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۴/۰۵

چکیده

در این مقاله تأثیر افزودن نانو الیاف سلولزی و نانو الیاف کیتوزان به ترکیب پوشش رنگ‌دانه‌ای متداول بر ویژگی‌های کاغذ تست لاینر موردبررسی قرارگرفته است. برای این منظور، نمونه‌های کاغذ تست لاینر به‌صورت دولایه پوشش‌دهی شدند و نانو الیاف به فرمولاسیون پوشش لایه رویی افزوده شد. نتایج به‌دست آمده نشان داد که اعمال پوشش دهی در مقایسه با نمونه بدون پوشش، باعث بهبود زبری سطح و کاهش قابل‌ملاحظه نفوذپذیری به هوا در کاغذ تست لاینر شد. باوجوداینکه اعمال پوشش دهی رنگ‌دانه‌ای متداول منجر به کاهش شاخص‌های مقاومت به ترکیدن و مقاومت به کشش کاغذ شد، اما افزودن نانو الیاف سلولزی و نانو الیاف کیتوزان هر دو منجر به جبران افت این ویژگی‌ها شد و بهترین نتیجه نیز در فرمولاسیون حاوی نانو الیاف کیتوزان به دست آمد. همچنین استفاده از دولایه پوشش دهی موجب بهبود قابل‌توجه درجه روشنی کاغذ تست لاینر پوشش‌دار شد. به‌طورکلی، می‌توان نتیجه‌گیری کرد که نانو الیاف استفاده‌شده در فرمولاسیون رنگ‌دانه‌ای متداول به‌عنوان افزودنی در بهبود ویژگی‌های فیزیکی تست لاینر مانند زبری، براقیت و مقاومت به نفوذپذیری هوا نقش مؤثری دارد.

واژگان کلیدی: پوشش دهی رنگ‌دانه‌ای، تست لاینر، نانو الیاف سلولزی، نانو الیاف کیتوزان.

مقدمه

در سال‌های اخیر استفاده از محصولات مختلف کاغذی و مقوایی در زندگی روزمره انسان‌ها بسیار توسعه‌یافته و در این رابطه بسیاری از انواع محصولات کاغذی در سرتاسر جهان برای اهداف مختلفی از قبیل بسته‌بندی، نوشتن، چاپ و ... استفاده می‌شوند. میزان مصرف جهانی کاغذ و مقوا در حال حاضر از ۴۰۰ میلیون تن در سال فراتر رفته است و مطالعات جدید میزان تولید آن را در حد ۴۸۲ میلیون تن برای سال ۲۰۳۰ پیش‌بینی کرده‌اند [۱].

صنعت کاغذ باوجود رقابت شدید و افزایش هزینه مواد اولیه و هزینه‌های انرژی، با چالش‌های جدیدی روبرو است. علاوه بر این، نگرانی در مورد مسائل زیست‌محیطی نیز رو به افزایش است. یکی از راه‌کارهای برطرف کردن این چالش‌ها، توسعه و پیشرفت در زمینه فن‌آوری‌های به کار گرفته شده است که کاغذسازی و عملیات تکمیلی را بسیار کارآمدتر می‌کند. امروزه گرایش به استفاده از لاینرهای یکرو سفید پوشش دهی شده[1]در بازارهای جهانی در

[1] Coated White Top Liner

حال افزایش است. از جعبه‌های کنگره‌ای[1] برای حمل‌ونقل انواع مختلفی از کالاها استفاده می‌شود و محافظ بسیار خوبی برای انواع مختلفی از محصولات هستند. به‌علاوه، بر روی سطح لاینر سفید یا پوشش دهی شده تصویر یا متن تبلیغاتی با کیفیت‌تری را می‌توان چاپ کرد و به جعبه محصول، ظاهر زیبایی داد. مصرف کاغذهای یکرو سفید پوشش دهی شده برای کالاهای کم‌حجم و کوچک رویکرد مطلوبی است که در بازارهای نوظهور و روبه گسترش آسیا در حال افزایش است. کاغذهای لاینر یکرو سفید پوشش دهی شده برای چندین دهه است که در اروپای مرکزی، آمریکای شمالی و کشورهای اسکاندیناوی تولید می‌شوند. پیش‌بینی می‌شود که تولید و مصرف این نوع از کاغذها در آسیا، سریع‌تر از دیگر انواع کاغذها گسترش یابد و بخشی از افزایش تقاضای مقوای جعبه[2] در آسیا، با انواع مختلف لاینرهای پوشش دهی شده[3] پاسخ داده شود. در فرآیند تولید کاغذ یکرو سفید، یک‌لایه خمیرکاغذ رنگبری‌شده[4] بر روی خمیرکاغذ کرافت رنگبری‌نشده یا خمیرکاغذ بازیافتی قرار می‌گیرد و ماشین‌های جدیدی برای تولید این نوع کاغذ توسعه داده‌شده‌اند. هزینه سرمایه‌گذاری راه‌اندازی خط خمیرسازی، هزینه‌های عملیاتی و همچنین قیمت زیاد خمیرکاغذ رنگبری شده، روش‌های متداول تولید کاغذ یکرو سفید را با چالش‌های جدی ازنظر زیست‌محیطی و اقتصادی مواجه کرده است. عقیده بر این است که با استفاده از یک روش پوشش دهی با پوشش مناسب، می‌توان هزینه‌های زیاد تولید کاغذ یکرو سفید را کاهش داد. در این راستا، ارتقاء ماشین‌های لاینر موجود برای پوشش‌دهی یک راه‌حل بسیار مناسب است، زیرا هنگام ارتقاء یک ماشین تولیدکننده مقوای لاینر به‌منظور پوشش دهی، ظرفیت تولید نیز به دلیل اضافه شدن وزن ماده پوشش‌دهی می‌تواند به‌طور قابل‌توجهی بیشتر شود. امروزه تمایل به استفاده از مواد زیستی که از منابع تجدیدپذیر ساخته‌شده‌اند و دارای تأثیرات زیست‌محیطی حداقل هستند، رو به افزایش است. نانو الیاف سلولزی (CNF)[5] از منابع تجزیه‌پذیر و طبیعی مانند چوب تولید می‌شوند و انتظار می‌رود که در آینده نزدیک، نانو الیاف سلولزی با هزینه کم در کارخانه‌های کاغذسازی تولید شود [۲]. در سال‌های اخیر اغلب پژوهش‌ها بر روی روش‌های تولید و خصوصیات نانو الیاف سلولزی متمرکزشده‌اند و در این زمینه گزارش‌های محدودی در زمینه کاربرد نانو الیاف سلولزی در پوشش دهی محصولات کاغذی منتشرشده است. در صنعت کاغذ و مقوا، نانو الیاف سلولزی به دلیل کاربردهای بالقوه آن به‌عنوان یک افزودنی در پایانه تر و همچنین به‌عنوان پوشش دهی جهت تقویت خواص کاغذ و مقوا موردتوجه قرارگرفته است [۳]. به‌طور مثال Afra و همکاران (۲۰۱۶)، تأثیر نانو الیاف سلولزی را به‌عنوان یک ماده پوشش دهی، بر روی خواص فیزیکی، مکانیکی و ممانعتی کاغذ[6] بررسی کردند. برای این منظور، کاغذهای دست‌ساز ساخته‌شده از خمیر باگاس رنگبری شده، با تیمارهای ۱/۵ و ۳ درصد وزنی نانو الیاف سلولزی و به‌صورت تک‌لایه و دولایه پوشش دهی شدند. نتایج مشخص کردند که با افزایش غلظت نانو الیاف سلولزی یا افزایش تعداد لایه‌ها، خواصی مانند مقاومت به عبور هوا[7]، مقاومت سطحی[8]، سفتی[9] و مقاومت کششی[10] افزایش پیدا می‌کند، درحالی‌که میزان جذب آب[11] و زبری[12] کاهش داشتند [۴]. همچنین Mousavi و همکاران (۲۰۱۷)، ترکیب دو نوع نانو الیاف سلولزی[13] (تهیه‌شده با ریفاینر[14] و آسیاب خیلی ریز[15]) همراه با کربوکسی متیل سلولز[16] را به‌عنوان یک پوشش مؤثر جهت بهبود خواص ساختاری در کاغذ مقوا موردبررسی قراردادند. نتایج نشان داد که ترکیب ۳٪ نانو الیاف سلولزی تهیه‌شده به روش آسیابی همراه با کربوکسی متیل سلولز برعکس ترکیب ۲٪ نانو الیاف سلولزی بدون کربوکسی متیل سلولز، یک پوشش بسیار خوب را بر روی کاغذ ایجاد کرده و خواص مقاومتی و ساختاری را نیز بهبود داد [۵]. کیتوزان ماده زیستی

[1] Corrugated boxes
[2] Container Board
[3] Coated liner
[4] Bleached Virgin Pulp
[5] Cellulose Nanofibers (CNF)

[6] Barrier properties
[7] Air resistance
[8] Surface strength
[9] Stiffness
[10] Tensile strength
[11] Cobb index
[12] Roughness
[13] Cellulose Nanofiber (CNF)
[14] Refiner produced material
[15] Ultra-fine grinder
[16] Carboxy methyl Cellulose (CMC)

دیگری هست که از استیل زدایی کیتین حاصل از پوسته میگو یا خرچنگ با هیدروکسید سدیم تولید می‌شود [۶]. بنابراین، از کیتوزان به‌طور گسترده به‌عنوان یک محصول سازگار با محیط‌زیست با خواص ضدباکتریایی، زیست‌تخریب‌پذیر و غیرسمی استفاده می‌شود [۷]. ازآنجایی‌که ساختار شیمیایی آن ($C_6H_{11}NO_4$) بسیار شبیه به سلولز است و به دلیل میل ترکیبی شیمیایی به راحتی بر روی سطح الیاف سلولزی جذب می‌شود و برای بهبود برخی از خواص مانند ویژگی‌های مقاومتی مواد مبتنی بر پایه سلولز به ویژه خواص الیاف سلولزی و ورق های کاغذ استفاده‌شده است [۸]. اگرچه کیتوزان کاربرد احتمالی خود را در فرآیند کاغذسازی به‌عنوان یک افزودنی مقاومت تر و مقاومت خشک نشان داده است، اما برخی از ویژگی‌های کاغذ تیمار شده با کیتوزان به‌عنوان یک افزودنی پوشش دهی هنوز گزارش نشده است [۹]. لذا، در تحقیق حاضر قابلیت استفاده از نانو الیاف سلولزی و نانو الیاف کیتوزان در فرمولاسیون پوشش‌های رنگ‌دانه‌ای متداول و تأثیر آن بر ویژگی‌های فیزیکی کاغذ تست لاینر پوشش داده‌شده بررسی خواهد شد.

مواد و روش‌ها

مواد اولیه

در این تحقیق، از کاغذ تست لاینر با گراماژ میانگین ۱۲۵ گرم بر مترمربع تولید کارخانه پیشگامان صنعت کاغذ جهت پوشش دهی استفاده‌شده است. در فرمولاسیون پوشش دهی، از کربنات کلسیم آسیابی[1] در ۲ درجه با کد Drycarb 60 و Drycarb 90 محصول شرکت امیا پارس (جدول ۱) با مقدار ثابت ۱۰۰ pph[2] استفاده گردید. برای اتصال اجزای رنگ‌دانه از لاتکس استایرن بوتادین[3] محصول شرکت پایا رزین اصفهان با کد Paytex M05 HP2 با مقدار ثابت ۱۵pph و همچنین پراکنده ساز[4] با کد Payperc D300 از محصولات شرکت مذکور با مقدار ثابت ۰/۱pph مورداستفاده قرار گرفت. از نشاسته اکسیدشده محصول شرکت نشاسته البرز به‌عنوان کمک اتصال‌دهنده با مقدار ثابت ۳pph در آزمایش‌ها استفاده شد. همچنین از کربوکسی متیل سلولز[5] به‌عنوان تغلیظ کننده محصول شرکت کیمیا سرام زرین با کد Kimifix 707 با مقدار ثابت ۰/۴pph در فرمولاسیون پوشش‌ها استفاده گردید. از نانو الیاف سلولزی[6] تهیه‌شده به روش مکانیکی و نانو الیاف کیتوزان[7] که به روش شیمیایی-مکانیکی در شرکت نانو نوین پلیمر تولیدشده است با مقدار ۰/۳pph استفاده‌شده است. به‌طورکلی آزمایش‌ها شامل ۳ تیمار متفاوت و نمونه شاهد (کاغذ تست لاینر بدون پوشش) است که در جدول ۲ ارائه‌شده است.

آماده‌سازی رنگ پوشش

برای آماده‌سازی رنگ پوشش، دوغاب رنگ‌دانه به‌طور جداگانه تهیه شد. برای این منظور، با توجه به مقدار ماده جامد هدف برای فرمولاسیون پوشش، ابتدا میزان معینی آب در بشر ریخته شد سپس ماده پراکنده ساز به آن اضافه و با دستگاه همزن با دور ۲۵۰ RPM هم‌زده شد. سپس کربنات کلسیم آسیابی به آن اضافه گردید و پس از مخلوط شدن کامل و به دست آمدن یک سوسپانسیون مناسب با گذشت ۱۰ دقیقه، سایر مواد به ترتیب کربوکسی متیل سلولز، نشاسته، نانو الیاف سلولزی یا نانو الیاف کیتوزان و در نهایت لاتکس به محلول اولیه اضافه شد و به مدت ۲۰ دقیقه جهت تهیه سوسپانسیون یکنواخت رنگ پوشش هم زده شد. لازم به ذکر است کربوکسی متیل سلولز و نشاسته قبل از افزودن به دوغاب کربنات کلسیم آسیابی، از حالت جامد و پودری به شکل مایع تبدیل‌شده بودند. پس از آماده‌سازی رنگ پوشش، پوشش دهی به روش آزمایشگاهی و به‌صورت دستی با استفاده از میله پوشش‌دهنده سیم‌پیچی شده[8] با شماره سه و اندازه قطر سیم ۰/۳۱ میلی‌متر، ساخت شرکت RK انگلستان انجام شد. سپس کاغذهای پوشش دهی شده جهت عملیات خشک‌کردن بلافاصله در دستگاه خشک‌کن با جریان هوای گرم ساخت کمپانی Neuberger آلمان به مدت ۲۰ ثانیه قرار داده شدند. پس از خشک شدن

[1] Ground Calcium Carbonate (GCC)
[2] Parts per hundred (pph)
[3] Styrene-butadiene (SB) latex
[4] Dispersant
[5] Carboxy Methyl Cellulose (CMC)
[6] Cellulose Nanofiber (CNF)
[7] Chitosan Nanofiber
[8] Wire-wound rod coater

نمونه‌ها و تعیین رطوبت و وزن پوشش، عملیات کناره بری بر روی آنها صورت گرفت و پس از مشروط سازی در شرایط رطوبت نسبی ۵۰٪ در دمای ۲۳ درجه سلسیوس ویژگی‌های نمونه‌های تست لاینر پوشش‌دار و بدون پوشش طبق استاندارد TAPPI به شرح زیر اندازه‌گیری شدند:

جدول ۱ – مشخصات فیزیکی و دانه‌بندی کربنات کلسیم آسیابی شرکت امیا پارس

مشخصات	کربنات کلسیم آسیابی ۶۰ (Drycarb 60)	کربنات کلسیم آسیابی ۹۰ (Drycarb 90)
ذرات باقیمانده روی الک ۴۵ میکرومتر (ISO 787/7) (درصد)	۰/۰۲	۰/۰۱
میانگین اندازه ذرات (d50%) (µm)	۱/۸	۱
ذرات کوچک‌تر از ۲ میکرومتر (درصد)	۵۷	۸۰

جدول ۲ – فرمولاسیون پوشش‌های تهیه‌شده برای لایه‌های زیری و رویی اعمال‌شده بر روی زیر آیند تست لاینر

تیمار/کد	کربنات کلسیم آسیابی درشت (pph)	کربنات کلسیم آسیابی ریز (pph)	پراکنده ساز (pph)	لاتکس (pph)	نشاسته (pph)	کربوکسی متیل سلولز (pph)	نانو الیاف سلولزی (pph)	نانو الیاف کیتوزان (pph)
شاهد (بدون پوشش)	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
لایه اول پوشش (ثابت برای همه تیمارها)	۱۰۰	۰	۰/۱	۱۵	۳	۰/۴	۰	۰
لایه رویی پوشش بدون نانو الیاف	۰	۱۰۰	۰/۱	۱۵	۳	۰/۴	۰	۰
لایه رویی پوشش حاوی نانو الیاف سلولزی	۰	۱۰۰	۰/۱	۱۵	۳	۰/۴	۰/۳	۰
لایه رویی پوشش حاوی نانو الیاف کیتوزان	۰	۱۰۰	۰/۱	۱۵	۳	۰/۴	۰	۰/۳

- مقاومت به ترکیدن[1] بر اساس استاندارد Tappi T807 om-16
- مقاومت به کشش[2] بر اساس استاندارد Tappi T494 om-13
- مقاومت به عبور هوا[3] بر اساس استاندارد Tappi T460 om-16
- زبری سطح کاغذ[4] بر اساس استاندارد Tappi T538 om-16
- روشنی کاغذ[5] بر اساس استاندارد Tappi T452 om-18
- براقیت کاغذ[6] بر اساس استاندارد Tappi T480 om-20

مطالعات میکروسکوپ الکترونی روبشی[7]

مطالعات میکروسکوپ الکترونی نمونه‌های پوشش داده‌شده با استفاده از دستگاه FE-SEM TESCAN MIRA3 و با پوشش دهی طلا انجام شد. تصاویر از سطح‌رویی پوشش و مقطع عرضی تهیه شدند.

طرح آزمایشات و تجزیه‌وتحلیل آماری

آزمایشات در قالب طرح کاملاً تصادفی انجام شد و آنالیز آماری داده‌ها بر اساس روش تجزیه واریانس و مقایسه میانگین‌ها از طریق آزمون دانکن با استفاده از نرم‌افزار SPSS انجام شد. نتایج تجزیه واریانس به‌طور خلاصه در جدول ۳ ارائه‌شده است.

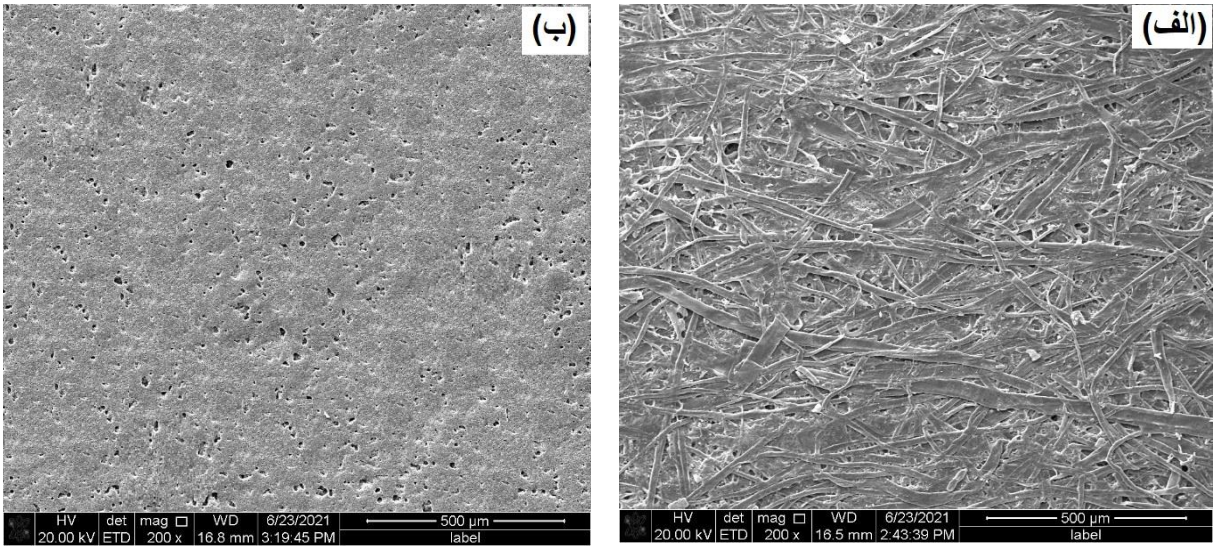
نتایج و بحث

نتایج بررسی میکروسکوپ الکترونی روبشی

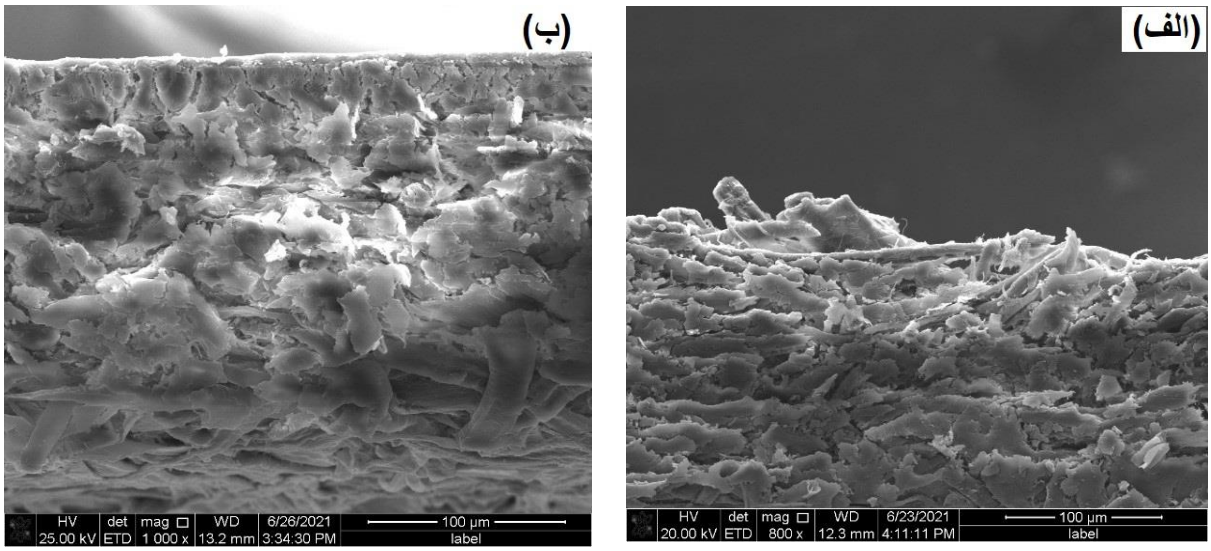
تصاویر میکروسکوپ الکترونی از سطح‌رویی و سطح مقطع کاغذهای موردمطالعه برای نمونه شاهد و نمونه پوشش داده‌شده (دولایه پوشش بدون نانو الیاف) در شکل‌های ۱ و ۲ نشان داده‌شده است. همان‌طور که در شکل ۱ مشاهده می‌شود، مقایسه سطح‌رویی نمونه شاهد در تصویر (۱-الف) و سطح‌رویی کاغذ تست لاینر پوشش

[1] Burst Test
[2] Tensile Test
[3] Porosity Test
[4] Roughness Test
[5] Brightness Test
[6] Gloss Test
[7] Field Emission Scanning Electron Microscope (FE-SEM)

داده‌شده در تصویر (۱-ب) به‌خوبی نشان‌دهنده تشکیل لایه پوشش یکنواخت در سطح و کاهش خلل و فرج سطح کاغذ هست. همچنین با مقایسه تصاویر میکروسکوپ الکترونی تهیه‌شده از سطح مقطع کاغذ تست لاینر پوشش داده نشده (۲-الف) و سطح مقطع کاغذ با دولایه پوشش بدون نانو الیاف (۲-ب) به‌وضوح تشکیل لایه پوشش در سطح فوقانی کاغذ تست لاینر قابل‌مشاهده است.



شکل ۱ – تصاویر میکروسکوپ الکترونی از سطح‌رویی (الف) کاغذ تست لاینر پوشش داده نشده و (ب) سطح‌رویی کاغذ دولایه پوشش داده‌شده بدون نانو الیاف



شکل ۲ – تصاویر میکروسکوپ الکترونی از سطح مقطع الف) کاغذ تست لاینر پوشش داده نشده و (ب) سطح مقطع کاغذ تست لاینر دولایه پوشش داده‌شده بدون نانو الیاف

نتایج آزمون تجزیه واریانس

نتایج آزمون تجزیه واریانس برای کلیه آزمون‌ها به شرح جدول ۳ هست.

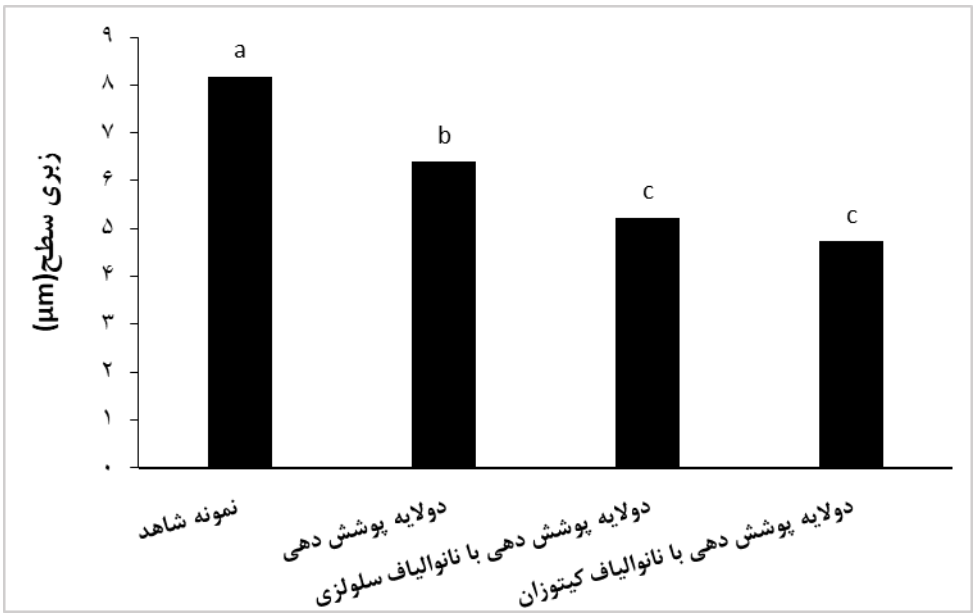
زبری سطح و نفوذپذیری به هوا

همان‌طوری که از نتایج تجزیه واریانس در جدول ۳ مشخص است، تأثیر تیمارهای مختلف پوشش بر زبری سطح و میزان نفوذپذیری کاغذهای پوشش‌دار در سطح اعتماد ۹۵ درصد معنی‌دار است. علاوه بر این، شکل‌های ۳ و ۴ به ترتیب میانگین زبری سطح‌رویی کاغذهای پوشش داده‌شده و میزان نفوذپذیری هوا در تیمارهای مختلف را نشان می‌دهند.

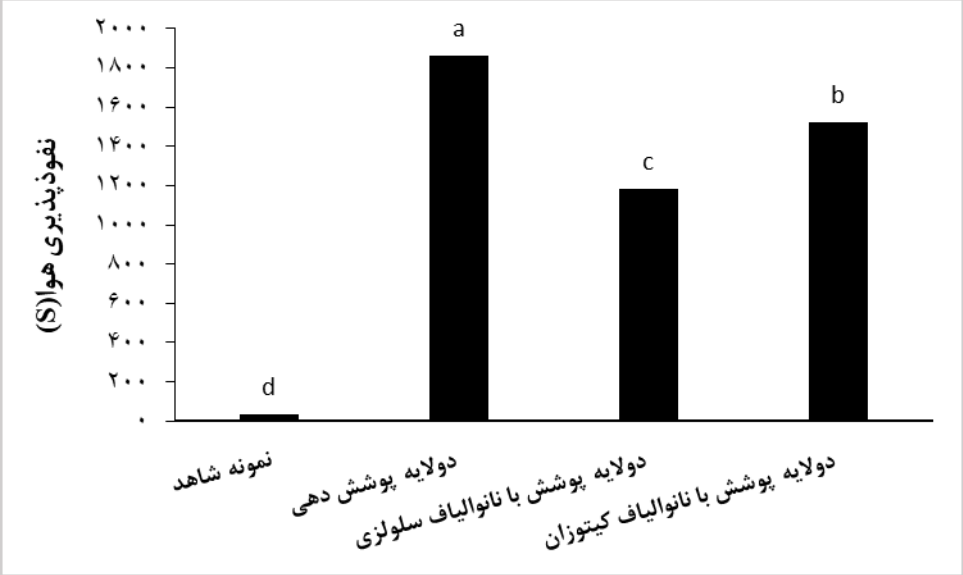
جدول ۳ – خلاصه جدول تجزیه واریانس تأثیر تیمارهای مختلف (استفاده از نانو الیاف سلولزی و کیتوزان) بر ویژگی‌های کاغذ پوشش داده‌شده

ویژگی	مقدار F	معنی‌داری
زبری سطح	۳۲/۹۹۰	*
نفوذپذیری هوا	۱۹۶۸۲/۲۴۹	*
روشنی	۳۱۶۲۰/۴۷۳	*
براقیت	۵۵۲/۲۹۷	*
شاخص مقاوت در برابر ترکیدن	۲/۳۴۳	ns
شاخص مقاومت در برابر کشش	۱/۸۲۵	ns

* معنی‌داری در سطح ۹۵ درصد اطمینان - ns معنی‌دار نیست.



شکل ۳ – تأثیر پوشش دهی با فرمولاسیون مختلف بر میزان زبری (pps) سطح کاغذ تست لاینر



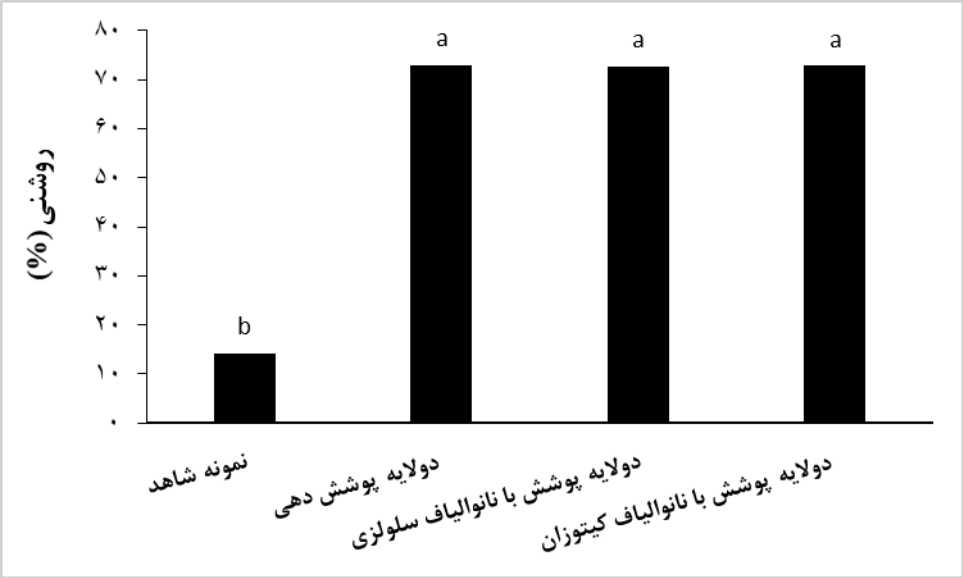
شکل ۴ – تأثیر پوشش دهی با فرمولاسیون مختلف بر میزان نفوذپذیری هوای کاغذ تست لاینر

همان‌طور که در شکل ۳ مشاهده می‌شود، پوشش دهی به میزان قابل‌توجهی باعث کاهش میزان زبری سطح کاغذ شده است به‌طوری‌که مقدار زبری در نمونه شاهد از مقدار ۸/۱۷ میکرومتر به مقدار ۶/۳۹ میکرومتر در تیمار دوم که یک کاغذ پوشش داده‌شده است، کاهش پیدا کرده است. همچنین با افزودن نانو الیاف سلولزی و نانو الیاف کیتوزان، مقدار زبری بازهم کاهش پیدا کرده است به‌طوری‌که کم‌ترین میزان زبری در تیمار نانو الیاف کیتوزان با مقدار (۴/۷۳ میکرومتر) می‌باشد که نسبت به نمونه شاهد ۷۳ درصد کاهش داشته است. به‌عبارت‌دیگر این‌گونه می‌توان توضیح داد که ذرات پرکننده معدنی در حفره‌های کوچک ورق کاغذ قرارگرفته و موجب یکنواختی سطح کاغذ می‌شوند. از سویی افزایش مقدار پرکننده‌ها موجب کاهش زبری سطح کاغذ و کاهش تخلخل یا به عبارتی افزایش مقاومت به عبور هوای آن می‌شود [۱۰]. مقایسه مقادیر نفوذپذیری کاغذهای تیمارشده با نمونه شاهد در شکل ۴، بیانگر آن است که پوشش دهی تأثیر قابل‌ملاحظه‌ای بر میزان نفوذپذیری دارد. همان‌طور که مشاهده می‌شود میزان نفوذپذیری در نمونه شاهد از ۳۷ ثانیه به ۱۸۶۳ ثانیه در نمونه کاغذ پوشش داده‌شده افزایش‌یافته است. افزودن نانو الیاف سلولزی و نانوفیبر کیتوزان، اگرچه باعث کاهش میزان نفوذپذیری نسبت به لایه پوشش بدون الیاف می‌شود ولی بازهم نسبت به نمونه شاهد بدون پوشش مقاومت به عبور هوا افزایش قابل‌توجهی را نشان می‌دهد. در این بین نمونه‌های پوشش‌دار حاوی نانو الیاف کیتوزان در مقایسه با نانو الیاف سلولزی از مقاومت بیشتری در مقابل نفوذ هوا برخوردار است که دلایل احتمالی آن را می‌توان به کاهش معایب در ساختار پوشش و یا تشکیل لایه رنگ پوشش همگن‌تر در اثر برهمکنش‌های بهتر نانو الیاف با بار مثبت با سایر اجزای رنگ پوشش نسبت داد.

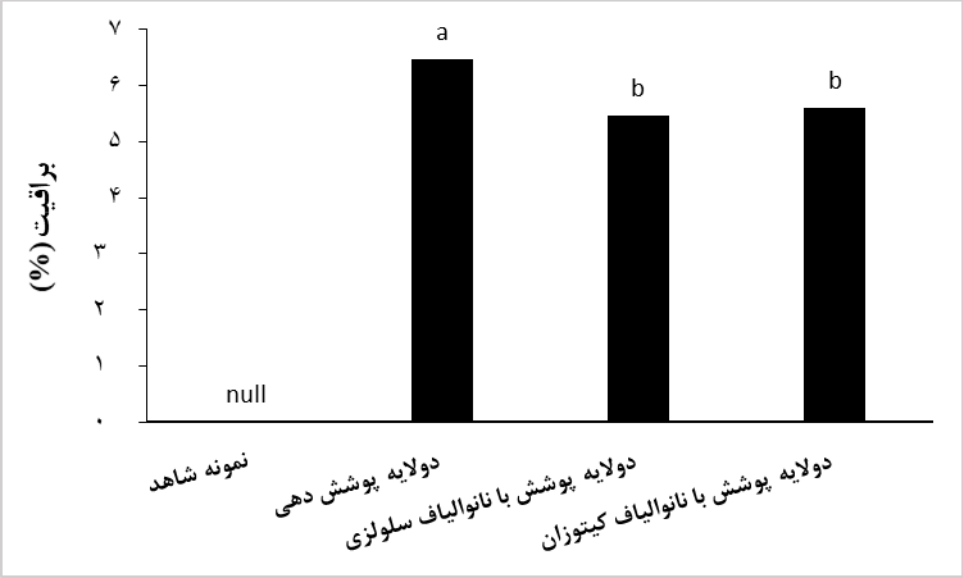
خواص نوری

همان‌طوری که از نتایج تجزیه واریانس در جدول ۳ مشخص است، تأثیر تیمارهای مختلف پوشش بر ویژگی‌های نوری کاغذهای پوشش‌دار در سطح اعتماد ۹۵ درصد معنی‌دار است. نتایج اندازه‌گیری خواص نوری کاغذ شامل درجه روشنی و براقیت به ترتیب در شکل‌های ۵ و ۶ نشان داده‌شده است. همان‌طور که در شکل ۵ مشاهده می‌شود درجه روشنی نمونه کاغذهای پوشش داده‌شده در مقایسه با نمونه شاهد (کاغذ تست لاینر قهوه‌ای) به ۷۳ درصد رسیده است که برای کاغذهای یکرو سفید یک شاخص قابل‌قبول محسوب می‌شود. میزان روشنی در تمامی نمونه‌های پوشش داده‌شده بسیار به هم نزدیک بوده و تفاوت قابل‌توجهی بین آنها وجود ندارد. ازآنجاکه بیشترین تأثیر در روشنی به جزء رنگ‌دانه با بیشترین

سهم وزنی در لایه پوشش مربوط است و مقادیر کربنات کلسیم آسیابی استفاده‌شده در هر دولایه برای کلیه نمونه‌های پوشش‌دار یکسان است این نوع رفتار قابل توجیه است. با افزودن نانو الیاف به فرمولاسیون پوشش رنگ‌دانه نیز روشنی حفظ‌شده و تغییری در آن ایجاد نشده است.



شکل ۵ – تأثیر پوشش دهی رنگ‌دانه‌ای با فرمولاسیون مختلف بر درجه روشنی کاغذ تست لاینر



شکل ۶ – تأثیر پوشش دهی رنگ‌دانه‌ای با فرمولاسیون مختلف بر میزان براقیت کاغذ تست لاینر

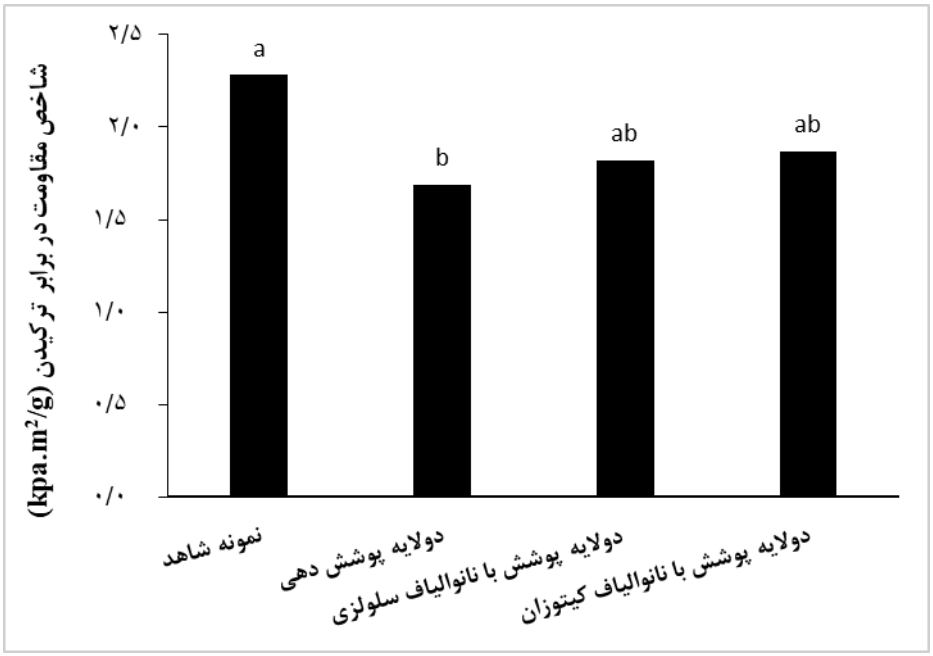
همچنین در شکل ۶ تغییرات براقیت نمونه‌های پوشش داده‌شده در مقایسه با نمونه بدون پوشش نشان داده‌شده است. با توجه به نتایج بیشترین میزان براقیت مربوط به فرمولاسیون پوشش رنگ‌دانه‌ای متداول با میزان ۶/۴۷ درصد می‌باشد. با افزودن نانو الیاف سلولزی و نانو الیاف کیتوزان از براقیت کاغذ در مقایسه با نمونه‌های پوشش‌دار بدون نانو الیاف کاسته شده است و این اختلاف ازنظر آماری معنی‌دار است. انتظار بر این است با مقایسه نتایج زبری و براقیت بتوان همبستگی خوبی را برای این دو تیمار مشاهده کرد. به‌عبارت‌دیگر ازآنجاکه افزودن نانو الیاف به ساختار پوشش منجر به کاهش زبری لایه پوشش شده است، به‌تبع آن براقیت باید افزایش می‌یافت که این

روند مشاهده نمی‌شود. به‌طورکلی براقیت کاغذ تابع بی-نظمی‌های سطح کاغذ به ویژه زبری سطح است. خود زبری کاغذ را می‌توان در دو دسته میکرو[1](زیر مقیاس یک میکرومتر) و ماکرو[2](بیشتر از مقیاس یک میکرومتر) تقسیم‌بندی کرد. در نتیجه براقیت کاغذ پوشش‌دار را نیز می‌توان در دو مقیاس میکرو و ماکرو[3]اندازه‌گیری نمود. روش‌های اندازه‌گیری متداول براقیت یعنی TAPPI-75° قادر به اندازه‌گیری براقیت ماکرو هستند. یکی از دلایل احتمالی براقیت کم اندازه‌گیری شده در نمونه‌های پوشش‌دار حاوی نانو الیاف و نبود همبستگی با مقادیر زبری را می‌توان به همین مسئله نسبت داد. علاوه بر این مقدار زیادتر آب نگه‌داشته شده در پوشش‌های حاوی نانو الیاف سلولزی و کایتوزان به‌طور قطع بر میزان هم‌کشیدگی، تغییرات حجمی لایه پوشش و بافت کاغذ پایه تاثیرگذار است و می‌تواند موجب رفتار متفاوت براقیت سطح کاغذهای پوشش‌دار شود. لازم به ذکر است که میزان براقیت لایه پوشش حاوی نانو الیاف سلولزی به میزان ۵/۴۸ درصد و در تیمار حاوی نانو الیاف کیتوزان ۵/۶۰ درصد اندازه‌گیری شده است و به لحاظ آماری تفاوت معنی‌داری با هم ندارند. شایان‌ذکر است که آزمون براقیت برای کاغذهای پوشش‌دار قابل انجام و معنی‌دار است، لذا برای نمونه شاهد که کاغذ قهوه‌ای بدون پوشش رنگ‌دانه‌ای است، بی‌معنی[4]بوده و مقدار براقیت اندازه‌گیری نشده و فقط نمونه‌های پوشش داده‌شده با یکدیگر مقایسه شده‌اند.

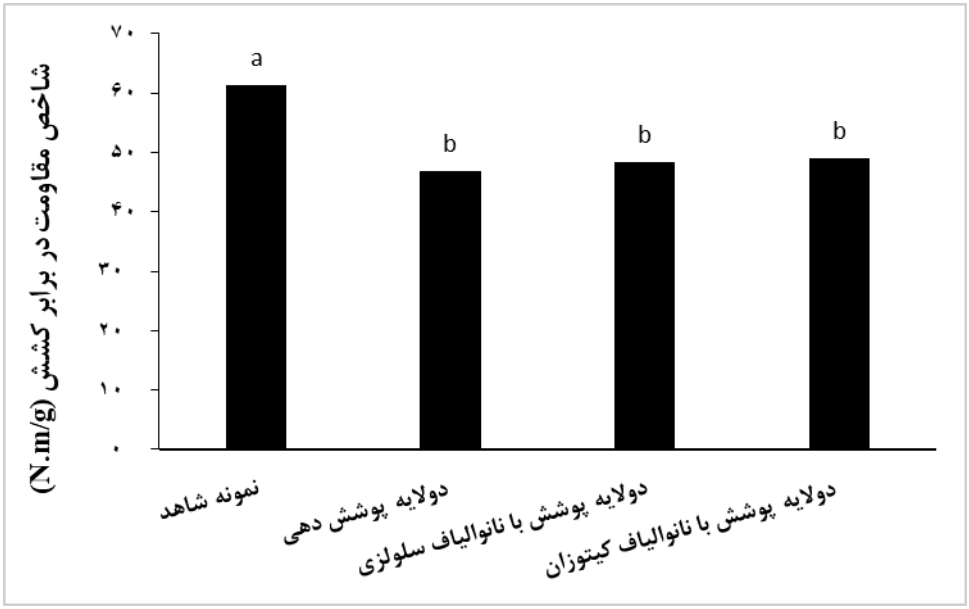
خواص مکانیکی

همان‌طوری که از نتایج تجزیه واریانس در جدول ۳ مشخص است، تأثیر تیمارهای مختلف پوشش بر ویژگی‌های مکانیکی کاغذهای پوشش‌دار در سطح اعتماد ۹۵ درصد معنی‌دار نیست. با این وجود نتایج مقایسه میانگین‌ها با آزمون دانکن نشان می‌دهد که بین مقادیر، اختلاف معنی‌داری وجود دارد. شکل‌های ۷ و ۸ به ترتیب نتایج اندازه‌گیری شاخص مقاومت به ترکیدن و شاخص مقاومت به کشش کاغذهای تست لاینر پوشش‌دار و بدون پوشش را نشان می‌دهند. نتایج به‌دست آمده نشان می-دهند که پوشش دهی رنگ‌دانه‌ای متداول باعث کاهش شاخص مقاومت به ترکیدن نسبت به نمونه شاهد بدون پوشش شده است به‌طوری‌که شاخص مقاومت به ترکیدن در نمونه شاهد از میزان ۲/۲۸ $kpa.m^2/g$ به ۱/۶۹ $kpa.m^2/g$ در نمونه پوشش داده‌شده کاهش‌یافته است. دلیل این کاهش را می‌توان به نفوذ آب از لایه پوشش به داخل ساختار کاغذ پایه به دلایلی مانند استفاده نکردن از آهار داخلی و یا فاصله زمانی نامناسب بین اعمال پوشش و خشک‌کردن در شرایط آزمایشگاهی و همین‌طور ضعف قابلیت نگهداری آب توسط رنگ پوشش نسبت داد. ولی نکته حائز اهمیت این است که با افزودن نانوالیاف سلولزی و نانو الیاف کیتوزان به فرمولاسیون پوشش دهی، به‌واسطه خاصیت تقویت‌کنندگی[5]در پوشش نانوکامپوزیتی حاصل تا حدی افت شاخص مقاومت به ترکیدن جبران شده است و بهترین نتیجه با مقدار ۱/۸۷ $kpa.m^2/g$ در تست لاینرهایی با لایه‌های پوشش شامل نانو الیاف کیتوزان حاصل‌شده است. در مورد شاخص مقاومت به ترکیدن، به نظر می‌رسد که اثر متقابل بین کیتوزان به‌عنوان یک زیست‌پلیمر کاتیونی و الیاف سلولزی شدید باشد. به همین دلیل مقاومت کلی ترکیدن در کاغذهای پوشش داده‌شده بهبودیافته است که این بهبود را احتمالاً بتوان به تشکیل پیوندهای هیدروژنی و جاذبه‌های الکترواستاتیک جدید بین کیتوزان و الیاف سطح کاغذ نسبت داد [۱۱].

[1] Micro-roughness
[2] Macro-roughness
[3] Micro- and Macrogloss
[4] null
[5] Reinforcement



شکل ۷ – تأثیر پوشش دهی رنگ‌دانه‌ای با فرمولاسیون مختلف بر شاخص مقاومت در برابر ترکیدن کاغذ تست لاینر



شکل ۸ – تأثیر پوشش دهی رنگ‌دانه‌ای با فرمولاسیون مختلف بر شاخص مقاومت در برابر کشش کاغذ تست لاینر

مطابق با انتظار در بررسی شاخص مقاومت به کشش نیز نتیجه مشابه با نتایج شاخص مقاومت به ترکیدن حاصل‌شده است و پوشش دهی منجر به کاهش این شاخص نسبت به نمونه بدون پوشش شده است به‌طوری‌که شاخص مقاومت به کشش از میزان ۶۱/۴۳ N.m/g در نمونه شاهد به ۴۶/۹۲ N.m/g در نمونه کاغذ تست لاینر با پوشش رنگ‌دانه‌ای متداول کاهش‌یافته است. بر اساس نتایج به‌دست آمده، در بین تیمارهای پوشش‌دهی موردمطالعه، بهترین نتیجه مربوط به تست لاینرهایی با لایه‌های پوشش‌دارای نانو الیاف کیتوزان با شاخص مقاومت به کشش (۴۹/۱۰ N.m/g) هست.

خواص مقاومت به کشش به دلیل ارتباط مستقیم آن با اشکالات پیش‌آمده مرتبط با قابلیت عبور کاغذ در حین عملیات تبدیل مثل پاره شدن کاغذ و به‌تبع آن توقف تولید، یکی از مهم‌ترین خواص مکانیکی کاغذهای بسته‌بندی است. خواص مقاومت به کشش کاغذهای پوشش داده نشده عمدتاً تحت تأثیر مقاومت و طول الیاف مجزا، مقاومت پیوندهای فیبر- فیبر و ناحیه اتصال است. برای شاخص مقاومت به کشش، تفاوت معنی‌داری بین کاغذهای پوشش داده‌شده حاوی نانو الیاف کیتوزان و نانو الیاف سلولز با نمونه‌های پوشش‌دار بدون نانو الیاف مشاهده نمی‌شود.

نتیجه‌گیری

در این تحقیق به‌منظور تولید کاغذ تست لاینر یکرو سفید، نانو الیاف سلولزی و کیتوزان به فرمولاسیون پوشش رنگ‌دانه‌ای افزوده شد و ویژگی‌های فیزیکی و مقاومتی محصول نهایی موردبررسی قرار گرفت. نتایج حاصل بیانگر آن است که پوشش دهی رنگ‌دانه‌ای متداول به‌تنهایی و همچنین در حالت استفاده از مواد نانو الیاف سلولزی و کیتوزان در فرمولاسیون رنگ پوشش هر دو منجر به کاهش مقدار زبری سطح کاغذ شدند. تشکیل لایه پوشش یکنواخت در سطح و کاهش زبری و خلل و فرج سطح کاغذ با مطالعه تصاویر میکروسکوپ الکترونی (SEM) تهیه‌شده از نمونه‌ها اثبات شد. همچنین پوشش دهی باعث کاهش میزان نفوذپذیری شده به‌طوری‌که این مقدار در نمونه شاهد از مقدار ۳۷ ثانیه به مقدار ۱۸۶۳ ثانیه در نمونه کاغذ پوشش داده‌شده افزایش‌یافته است. باوجود افزودن نانو الیاف به فرمولاسیون پوشش رنگ‌دانه، مقدار روشنی نمونه‌ها حفظ‌شده و تغییری در آن ایجاد نشده است. متأسفانه نمونه‌های پوشش‌دار حاوی نانو الیاف با افت اندک براقیت مواجه شدند. با توجه به پایین بودن سطح کلی براقیت نمونه‌های پوشش داده‌شده و اهمیت زیاد این ویژگی، اتو زنی و استفاده از رنگ‌دانه‌هایی با خاصیت افزایش براقیت در مطالعات آتی توصیه می‌شود. در مورد خواص مکانیکی، اگرچه پوشش دهی رنگ‌دانه‌ای باعث کاهش شاخص مقاومت به ترکیدن و شاخص مقاومت به کشش شد، اما افزودن نانو الیاف سلولزی و کیتوزان با بهبود این شاخص‌ها بر پتانسیل بالای تقویت‌کنندگی لایه‌های پوشش با نانو الیاف تأکید دارد.

منابع

[1] Kumar, N., Bhardwaj, N.K. and Chakrabarti, S.K., 2011. Influence of particle size distribution of calcium carbonate pigments on coated paper whiteness. Journal of coatings technology and research, 8(5), pp.613-618.

[2] Mousavi, S.M., Afra, E., Tajvidi, M., Bousfield, D.W. and Dehghani Firouzabadi, M., 2017. Cellulose nanofiber/carboxymethyl cellulose blends as an efficient coating to improve the structure and barrier properties of paperboard. Cellulose, 24(7), pp.3001-3014.

[3] Boufi, S., González, I., Delgado-Aguilar, M., Tarrès, Q., Pèlach, M.À. and Mutjé, P., 2016. Nanofibrillated cellulose as an additive in papermaking process: A review. Carbohydrate polymers, 154, pp.151-166.

[4] Afra, E., Mohammadnejad, S. and Saraeyan, A. R., 2016. Cellulose nanofibils as coating material and its effects on paper properties. Progress in organic coating Journal, Pages 455-460.

[5] Mousavi, S.M., Afra, E., Tajvidi, M., Bousfield, D.W. and Dehghani Firouzabadi, M., 2018: Application of cellulose nanofibril (CNF) as coating on paperboard at moderate solids content and high coating speed using blade coater. Progress in Organic Coatings, 122 (2018) 207–218, 2018.

[6] Ifuku, Sh., Ikuta, A., Egusa, M., Kaminaka, H., Izawa, H., Morimoto, M. and Saimoto, M., 2013. Preparation of high-strength transparent chitosan film reinforced with surface-deacetylated chitin nanofibers. Carohydrate Polymers Journal, Volume 98, Issue 1, 15 October 2013, Pages 1198-1202.

[7] Ashori, A., Harun, J., Zin, W. Md. and Yousoff, Mohd., 2006. Enhancing Dry-Strength Properties of Kenaf (Hibiscus cannabinus) Paper through Chitosan. Polymer-Plastics Technology and Engineering Journal, Pages 125-129.

[8] Lertsutthiwong, P., Nazhad, M., Chandrkrachang, S. and Stevens, W., 2004. Chitosan as a Surface Sizing Agent for Offset Printing Paper. Appita Technology, Innovation, Manufacturing, Environment Journal, Pages 274-280.

[9] Nada, A. M. A., El-Sakhawy, M., Kamel, S., Eid, M. A. M. and Adel, A. M., 2005. Effect of Chitosan and its Derivatives on the Mechanical and Electrical Properties of Paper Sheets. Egyptian Journal of Solids, Pages 359-377.

[10] Hamzeh, Y. and Rostampour, A., 2009. Principles of Paper Chemistry, Tehran University Publications, Tehran, 424 P. (In Persian).

[11] Kopacic, S., Walzl, A., Zankel, A., Leitner, E. and Bauer, W., 2018. Alginate and Chitosan as a Functional Barrier for Paper-Based Packaging Materials. MDPI Coatings Journal 8, no. 7: 235.

The effect of incorporating cellulose and chitosan nano-fibers into pigment coating formulation on the physical and mechanical properties of Testliner

Abstract

Cellulose nanofiber (CNF) and chitosan nanofiber were incorporated into conventional pigment coating structures, and their effects have been investigated on the properties of the Testliner. Hence, Testliner paper samples were double-coated, and the addition of cellulose nanofiber and chitosan nanofiber was conducted into the formulation of top layer coating. The results indicated that in comparison with uncoated samples, coating improved roughness and significantly decreased air permeability of the Testliner. Although the application of conventional pigmented coatings reduced burst strength and tensile strength indices, the addition of both CNFs and chitosan nanofiber compensate for the losses so that high gain was obtained for chitosan fiber-containing formulation. As was expected, a significant enhancement of brightness was achieved due to the double-layer coating of the Testliner. It can be concluded that incorporating these nanofibers as additives into conventional pigmented coatings can play an influential role in improving the properties of the Testliner board as a valuable packaging material.

Keywords: Pigment coating, Testliner, Cellulose nanofiber, Chitosan nanofiber.

E. Javid[1]
M. Azadfallah[2*]
Y. Hamzeh[3]

[1] Ph.D. Student, Department of Wood and Paper Science and Technology, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, I.R. Iran

[2] Associate Professor, Department of Wood and Paper Science and Technology, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, I.R. Iran

[3] Professor, Department of Wood and Paper Science and Technology, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran

Corresponding author:
adfallah@ut.ac.ir

Received: 2022/01/29
Accepted: 2022/06/26