بررسی ویژگی‌های مکانیکی و نوری کاغذ کرافت پوشش‌دهی شده با ترکیب پکتین، پلی‌وینیل الکل و نانو دی‌اکسید تیتانیوم

زهرا فقهی[۱]
سید حسن شریفی[۲*]
سید مجید ذبیح‌زاده[۳]

[۱] دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، گروه مهندسی چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران

[۲] استادیار، گروه مهندسی چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران

[۳] دانشیار، گروه مهندسی چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران

مسئول مکاتبات:
h.sharifi@sanru.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۰/۰۱
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۱/۱۸

چکیده

در این پژوهش برای پوشش‌دهی کاغذ بسته‌بندی، نخست از پکتین تقویت‌شده با پلی‌وینیل‌الکل و در گام دوم، از ترکیب پکتین تقویت‌شده با پلی‌وینیل‌الکل و نانو دی‌اکسید تیتانیوم استفاده شده و در ادامه پس از پوشش‌دهی، خواص مکانیکی و نوری نمونه‌ها ارزیابی شدند. نتایج به‌دست‌آمده نشان داد که پوشش تهیه‌شده در گام دوم، پارامترهای مقاومت مکانیکی کاغذ را افزایش داده است (پارگی از ۱۶/۵۵ به ۱۷/۸۵ $KPa.m^2/g$، کششی از ۵۶/۳۸ به ۶۹/۹۷ Nm/g و ترکیدگی از ۲/۸۰۶ به ۴/۰۳۷ $mN.m^2/g$). در آزمون درجه روشنی نمونه‌های کاغذ تهیه‌شده در گام نخست کاهش درجه روشنی و در نمونه‌های تهیه‌شده در گام دوم، افزایش درجه روشنی نسبت به شاهد مشاهده گردید (کم‌ترین مقدار ۱۶/۹۹ درصد و بیشترین ۲۰/۰۹ درصد). از سوی دیگر، ماتی نمونه‌های کاغذ تهیه‌شده در گام دوم، افزایش یافت (از ۹۷/۸۸ به ۹۸/۶۷ درصد).

واژگان کلیدی: کاغذ بسته‌بندی، پکتین، پلی‌وینیل‌الکل، نانو دی‌اکسید تیتانیوم، خواص مکانیکی، خواص نوری.

مقدمه

بیش از ۴۲ درصد از کل مواد پلاستیکی جهان در بخش بسته‌بندی استفاده شده و بسته‌بندی مواد غذایی با به‌کارگیری حدود ۴۷ درصد از مواد پلاستیکی صنعت بسته‌بندی، بزرگ‌ترین بازار مصرف مواد پلاستیکی است [۱]. فیلم‌های پلیمری شیمیایی و سنتزی مانند پلی‌اتیلن، پلی‌وینیل‌کلراید، پلی‌استایرن و غیره در صنایع غذایی با توجه به ویژگی‌های مطلوبشان نظیر سبکی، نرمی و شفافیت مورداستفاده قرار می‌گیرند، اما در کنار مزایا باید به معایب مهمی ازجمله عدم تجزیه‌پذیری آن‌ها اشاره نمود که خود منجر به سوزاندن عمده این مواد در محیط و ایجاد ترکیبات سمی مانند دیوکسین‌ها، بی‌فنییل‌های پلی‌کربناته و فوران‌ها شده و برای انسان و محیط‌زیست مضر بوده و معضل عمده‌ای محسوب می‌شود [۲]. ازآنجایی‌که تجزیه مواد پلاستیکی سنتزی در طبیعت فرآیندی بسیار کند است که درنتیجه سبب ایجاد مشکلات زیست‌محیطی می‌شود، لذا در سال‌های اخیر یافتن جایگزین‌های مناسب زیست‌تخریب‌پذیر برای پلاستیک‌های سنتزی، توجه پژوهشگران را به خود معطوف نموده است. پوشش‌های زیست‌تخریب‌پذیر حاصل از منابع کشاورزی تجدید پذیر، جایگزین مناسبی برای این امر هستند [۱]. عمده مواد پلیمری طبیعی که در ساخت

فیلم و پوشش‌ها به کار می‌روند شامل پلی‌ساکاریدها، لیپیدها، پروتئین‌ها و یا ترکیبی از آن‌ها هستند، پکتین به‌عنوان مخلوط پیچیده‌ای از پلی‌ساکاریدهاست که در دیواره‌ی سلولی اولیه و حد واسط بین سلول‌های بافت گیاهی قرار دارد و در حدود یک‌سوم دیواره‌ی سلولی اکثر گیاهان را تشکیل می‌دهد. پکتین به لحاظ شیمیایی از اسیدهای پلی‌گالاکتورونیک تشکیل‌شده است و در صنایع غذایی در شمار موادی جای دارد که توسط سازمان غذا و دارو، ماده‌ای به‌کلی ایمن شناخته می‌شود. همچنین به دلیل توانایی تشکیل ژل، زیست‌تخریب‌پذیری، ارزان بودن، دسترسی مناسب، خوراکی بودن و خواص شیمیایی و فیزیکی متنوعی که دارد (همچون سفت شدگی، نفوذپذیری انتخابی گازها و مواردی از این قبیل) از اهمیت خاصی در تولید پوشش‌های بسته‌بندی خوراکی برخوردار است، این در حالی است که می‌توان یکی از معایب پکتین را ویژگی‌های مکانیکی ضعیف آن در پوشش‌دهی دانست [۳]. با افزودن پلیمری همچون پلی‌ونیل‌الکل که از مقاومت کششی، انعطاف‌پذیری و زیست‌تخریب‌پذیری مطلوبی برخوردار است می‌توان ویژگی‌های مطلوب موردنظر را ایجاد نمود [۴]. پلی‌ونیل‌الکل یک پلیمر سنتزی زیست‌تخریب‌پذیر و قابل‌حل در آب است و در صنعت کاغذ در آهاردهی سطحی و پوشش‌دهی کاغذ به‌کاربرده می‌شود. استفاده از این پلیمر به دلیل ایجاد پیوند هیدروژنی بین الیاف سلولزی با پلیمر روی ویژگی‌هایی از قبیل کشش، تأثیر می‌گذارد [۵]. جدیدترین پیشرفت درزمینهٔ فیلم و پوشش‌ها، ورود فناوری نانو در این عرصه است. دلیل بهبود خواص مختلف نانو کامپوزیت‌ها مربوط به‌اندازه ذرات فاز پرکننده بوده و با کاهش اندازه ذرات فاز پرکننده، سطح ویژه افزایش و متوسط فاصله بین ذرات کاهش می‌یابد و ناحیه بین دو سطح که مسئول ارتباط بین ماتریس و پرکننده است، افزایش قابل‌ملاحظه‌ای نشان می‌دهد و درنتیجه، تعداد برهم‌کنش‌های بین ماتریس و پرکننده افزایش می‌یابد. این امر باعث بهبود خواص نفوذپذیری و مکانیکی فیلم‌های نانو کامپوزیت نسبت به فیلم‌های معمولی می‌گردد [۶]. نانو ذرات دی‌اکسید تیتانیوم، غیررسمی بوده و در صنعت بسته‌بندی مواد غذایی به‌عنوان یک افزودنی مناسب در نظر گرفته می‌شوند. کاربرد دی‌اکسید تیتانیوم در مواد غذایی و سطوح در تماس مستقیم با آن توسط سازمان غذا و داروی آمریکا، اتحادیه اروپا و استاندارد کُدِکس تأییدشده است. روی سطح نانوذره‌ی دی‌اکسید تیتانیوم، گروه‌های دارای بار مثبت وجود داشته، بدین‌سان، این نانوذره ماهیت قطبی داشته و با بیوپلیمرهای طبیعی مانند نشاسته سازگار است [۱]. در این پژوهش از دی‌اکسید تیتانیوم جهت بهبود خواص نوری بهره‌گیری شده است. هدف از این پژوهش، ارزیابی پوشش‌دهی کاغذها با ترکیب پلیمر پکتین- پلی‌ونیل‌الکل در گام اول و یافتن درصد اختلاط بهینه و در گام دوم پوشش‌دهی کاغذها با ترکیب پکتین- پلی‌ونیل‌الکل- نانو دی‌اکسید تیتانیوم است. در این راستا، تأثیر آن‌ها بر خواص مکانیکی (ترکیدن، پارگی، کشش) و خواص نوری (درجه روشنی، ماتی، رنگ‌سنجی) برای بهره‌گیری در صنایع بسته‌بندی نیز بررسی گردیده است.

مواد و روش

پکتین با جرم مولی ۱۵۰/۱۳ g/mol از شرکت زیگما آلدریچ فراهم گردید. همچنین، آب مقطر، پلی‌ونیل‌الکل با وزن مولکولی ۹۲/۱۰g/mol و دانسیته ۱۹/۱g/cm^3 و گلیسرول با دانسیته ۱/۲۶g/cm^3 از شرکت مرک تهیه و نانو دی‌اکسید تیتانیوم نیز با روش سنتز سبز [۷] فرآوری شد. کاغذ مورداستفاده جهت پوشش‌دهی از نوع کاغذ کرافت لاینر ۸۰ گرمی رنگ‌بری نشده است و از شرکت صنایع چوب و کاغذ مازندران تهیه گردیده است.

روش آماده‌سازی محلول پکتین

پکتین با بهره‌گیری از روش وارتانین تهیه شد [۸]. ۲-۳ گرم پکتین در ۸۰-۶۰ میلی‌لیتر آب مقطر با همزن مغناطیسی حل‌شده و پس از انحلال کامل پکتین، گلیسرول به‌عنوان نرم‌کننده (۰/۳ گرم بر مبنای وزن خشک پکتین) به محلول پکتین افزوده‌شده و محلول به مدت ۱ ساعت بر روی بن‌ماری با دمای ۹۰°C قرار داده شد.

آماده‌سازی محلول پلی‌ونیل‌الکل با درصدهای معین

۱/۵- ۱/۳۵- ۱/۲ گرم پلی‌ونیل‌الکل برمبنای وزن خشک پکتین در ۸۰-۶۰ میلی‌لیتر آب مقطر با همزن مغناطیسی با مگنت در دمای ۷۰ تا۹۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۰ دقیقه حل شد.

افزودن پلی‌وینیل‌الکل به محلول پکتین و پوشش‌دهی کاغذ بسته‌بندی با استفاده از محلول ترکیبی پکتین و پلی‌ونیل‌الکل

سرانجام محلول پلی‌ونیل‌الکل به محلول پکتین افزوده، به مدت ۱ ساعت بر روی بن‌ماری با دمای ۹۰ ^{o}C قرار داده شدند و در این زمان، ژل شفافی تشکیل گردد. محلول به‌دست‌آمده با همزن مغناطیسی هم زده شدند تا محلول یکنواختی حاصل شود. در انتها کاغذها با محلول نانو کامپوزیتی حاصل به روش دستی پوشش‌دهی شدند.

افزودن نانو ذرات دی‌اکسید تیتانیوم

نانو دی‌اکسید تیتانیوم در درصدهای مختلف (۱، ۳ و ۵ درصد بر مبنای وزن خشک پکتین) به محلول بهینه پکتین- پلی‌ونیل‌الکل افزوده شد و کاغذها با محلول نانو کامپوزیتی حاصل پوشش‌دهی شدند.

جدول۱-تیمارهای آزمایشی انجام‌شده در این تحقیق و کدهای اختصاری در نمودارها

نام کامل نمونه‌ها	کد نمونه‌ها
شاهد	شاهد
پکتین- ۱/۲ گرم پلی‌ونیل‌الکل	۱/۲
پکتین- ۱/۳۵ گرم پلی‌ونیل‌الکل	۱/۳۵
پکتین- ۱/۵ گرم پلی‌ونیل‌الکل	۱/۵
پکتین- ۱/۵ گرم پلی‌ونیل‌الکل- ۱٪ دی‌اکسید تیتانیوم	٪۱
پکتین- ۱/۵ گرم پلی‌ونیل‌الکل- ۳٪ دی‌اکسید تیتانیوم	٪۳
پکتین- ۱/۵ گرم پلی‌ونیل‌الکل- ۵٪ دی‌اکسید تیتانیوم	٪۵

بررسی نمونه‌ها با میکروسکوپ الکترونی روبشی نشرمیدانی (FESEM)[1]

برای بررسی ریخت شناختی (مورفولوژی) سطح کاغذ پوشش‌دهی شده پس از افزودن نانو مواد و چگونگی پخش نانو مواد در سطح، از میکروسکوپ الکترونی روبشی نشر میدانی[1] (FESEM) مدل «Tescan- mira 3» ساخت جمهوری چک بهره‌گیری شد.

تعیین شاخص کشش، ترکیدن و پارگی

اندازه‌گیری مقاومت به پارگی نمونه کاغذهای پوشش‌دهی شده با محلول‌های مذکور و شاهد با استاندارد تاپی T414 om-04، مقاومت به کشش استاندارد تاپی T 404 om-98و مقاومت به ترکیدن با استاندارد تاپی T403 om-02 انجام گرفت.

آزمون‌های نوری

درجه روشنی بر اساس استاندارد تاپی92 -T452 om ، درجه ماتی بر اساس استاندارد تاپی 91 -T425 om و ویژگی‌های رنگی کاغذهای بسته‌بندی برابر با استاندارد تاپی T527 om-13 بر اساس پارامتر رنگی «هانترلب»[2] اندازه‌گیری شدند.

روش آماری

تجزیه‌وتحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار آماریSPSS، از طرح کاملاً تصادفی با آنالیز واریانس

[1] Field Emission Scanning Electron Microscope

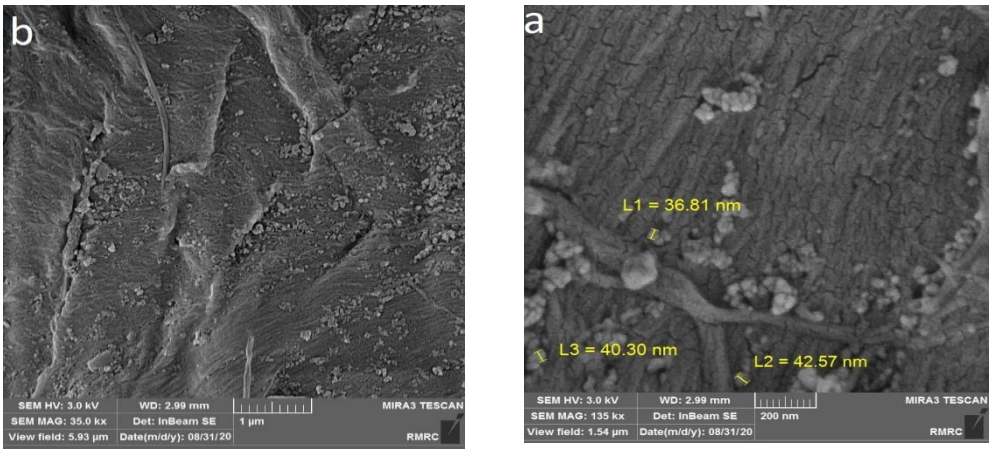
[2] Hunter Lab

یک‌طرفه و درنهایت، گروه‌بندی میانگین‌ها به‌کمک آزمون دانکن (در سطح ۵٪) انجام شد.

نتایج و بحث

بررسی تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی نشر میدانی (FESEM)

برای بررسی اثرات نانو مواد در ریزساختار نمونه‌ها، کاغذهای پوشش‌دهی شده با پکتین- ۱/۵ گرم پلی‌ونیل‌الکل- ۵٪ دی‌اکسید تیتانیوم با دستگاه میکروسکوپ الکترونی روبشی نشر میدانی تصویربرداری شدند و همان‌گونه که درشکل ۱ (a) و (b)، نانو ذرات TiO_2 نشان داده‌شده است آشکار گردید، نانو ذرات به‌صورت کروی و دارای قطری در حدود ۴۵-۳۰ نانومتر بوده، به‌گونه‌ای یکنواخت و با تجمع بسیار ناچیز درزمینه (ماتریس) کاغذها پخش شده‌اند. این در حالی است که پژوهش Sodeifi و همکاران، (۱۳۹۸) نشان داده، هنگامی که نانو مواد به خوبی و به‌گونه‌ای یکنواخت در کاغذها پخش شده باشند باعث ایجاد سطح تماسی بالا با زنجیره‌های پلیمر در کاغذهای پوشش‌دهی شده گردیده، می‌تواند به بهبود ویژگی‌های ممانعتی زیست نانوکامپوزیت‌ها انجامیده و آن‌ها را تقویت نماید.

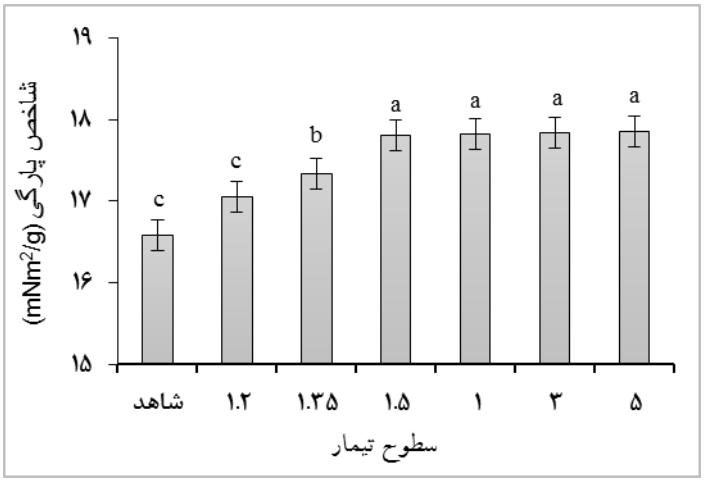


شکل-۱ تصویر «FESEM» کاغذ پوشش‌دهی شده با محلول پکتین-گرم ۱/۵ پلی‌ونیل‌الکل- ٪۵ دی‌اکسید تیتانیوم با وضوح (a) ۲۰۰ نانومتر و (b) ۱ میکرون

ویژگی‌های مکانیکی

شاخص پارگی

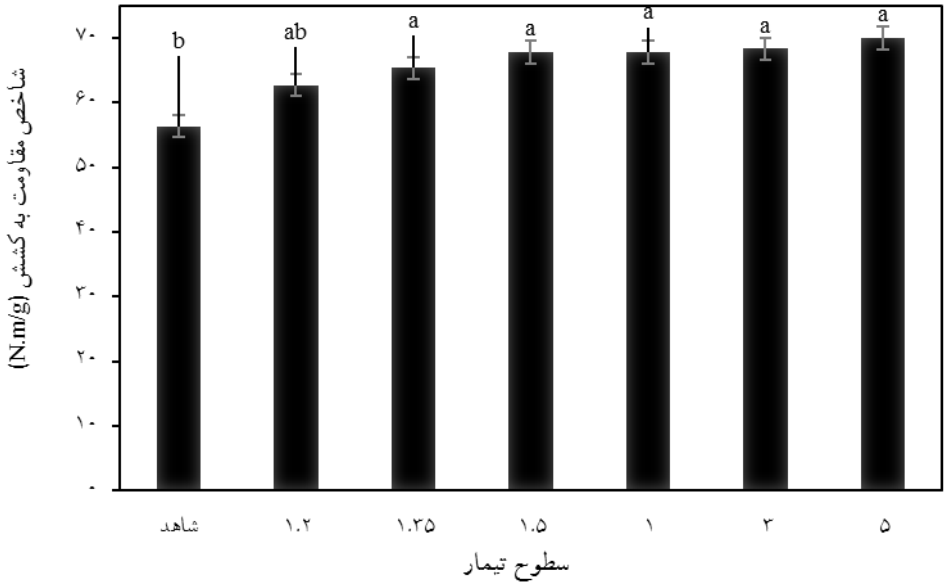
مقاومت در برابر پاره شدن کاغذ به طول الیاف، تعداد الیافی که در پاره شدن دخالت دارند، تعداد اتصالات بین الیاف و مقاومت اتصالات بستگی دارد، هرچند که در این پژوهش به دلیل یکسان بودن نوع کاغذهای پوشش داده‌شده، از تأثیر مقاومت ذاتی الیاف و طول و قطر آن‌ها بر مقاومت پارگی صرف‌نظر گردیده است. درنتیجه افزایش شاخص پارگی را می‌توان به افزایش سطوح پیوند و تقویت پیوند بین الیاف توسط مواد پوشش‌دهنده عنوان کرد [۹]. لذا ایجاد پیوندهای میان پلیمر و نانو ذرات دی‌اکسید تیتانیوم به افزایش استحکام مکانیکی می‌انجامد. در طول فرآیند تولید محلول پوشش‌دهنده و به‌ویژه در زمان خشک‌کردن، میان پلیمر و نانو دی‌اکسید تیتانیوم، پیوندهای هیدروژنی ایجاد می‌شود. وجود این پیوندها باعث افزایش مقاومت مکانیکی در مقابل پاره شدن می‌گردد [۱] و [۱۱]. همان‌طور که در شکل۲ مشاهده می‌گردد، شاخص پارگی از نمونه شاهد به کاغذ پوشش‌دهی شده با محلول پکتین- ۱/۵ گرم پلی‌ونیل‌الکل- ۵٪ دی‌اکسید تیتانیوم روند افزایشی داشته‌است. کم‌ترین مقدار شاخص پارگی مربوط به کاغذ شاهد و بیش‌ترین مقدار مربوط به کاغذ با بالاترین درصد پوشش است و مقادیر آن به ترتیب برابر ۱۶/۵۵ و ۱۷/۸۵ میلی نیوتون بر مترمربع بر گرم است.



شکل ۲- مقادیر شاخص پارگی کاغذهای پوشش‌دهی شده

شاخص کشش

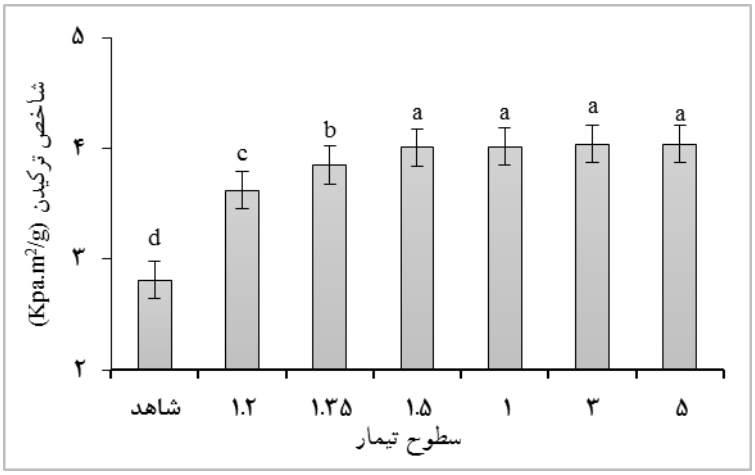
مقاومت کششی یکی از مهم‌ترین مقاومت‌های کاغذ است که آن را در برابر تنش‌های کششی که به آن وارد می‌شود، حفظ می‌کند. عوامل مؤثر بر شاخص کششی کاغذ عبارت‌اند از گراماژ کاغذ، زبری الیاف (وزن واحد طول) و پهنای الیاف. همچنین، با افزایش طول الیاف، افزایش شدت پالایش، افزایش فشار پرس و آهاردهی بر سطح کاغذ، مقاومت‌های کششی افزایش و با افزایش مقدار مواد پرکننده و نیز شکل‌گیری نامناسب، مقاومت‌های کششی کاهش می‌یابد [۹]. با توجه به شکل ۳ مشاهده گردید که شاخص کشش از نمونه شاهد به کاغذ پوشش‌دهی شده با محلول پکتین- ۱/۵ گرم پلی‌ونیل‌الکل- ۵٪ دی‌اکسید تیتانیوم، روندی افزایشی داشته است. حداقل مقدار شاخص کششی مربوط به کاغذ شاهد، بیشینه مقدار مربوط به کاغذ با بالاترین درصد پوشش و مقادیر آن به ترتیب برابر ۵۶/۳۸ و ۶۹/۹۷ نیوتون متر بر گرم است. با توجه به این‌که مقاومت کششی ازجمله مقاومت‌های متأثر از پیوند بین الیاف است [۱۰]، علت افزایش این مقاومت را می‌توان به افزایش بیش‌تر پیوندهای میان الیاف، هنگام بهره‌گیری از ماده پوشش‌دهنده دانست. استفاده از پلیمر پلی‌ونیل‌الکل به دلیل ایجاد پیوند هیدروژنی بین الیاف سلولزی با پلیمر بر روی ویژگی‌هایی از قبیل کشش، تأثیر می‌گذارد [۵] و [۱۱]. پکتین از مشتقات کربوهیدرات‌ها بوده و در ساختار شیمیایی خود توانایی ایجاد پیوند را با دیگر مواد و استری شدن گروه‌های متوکسی در زنجیره پلیمری «گالاکتورونیک اسید» دارد [۱۲]. لذا می‌توان دلیل دیگر این افزایش مقاومت کششی را به پیوندهای ایجادشده در ماده پوشش‌دهنده که شامل اتصال پکتین و پلی‌ونیل‌الکل است (با یکدیگر پیوند استری تشکیل داده‌اند) نسبت داد [۱۱]. همچنین، در این پژوهش با استفاده از تصاویر (FESEM) آشکار گردید که نانو ماده توانسته با ایجاد نواحی بلوری و پر کردن فضاهای خالی، استحکام و مقاومت کششی کاغذ را افزایش دهد. این موضوع در هماهنگی با پژوهش Gallstedt و همکاران (۲۰۰۵) است که نشان می‌دهد پوشش‌دهی با نانو ماده می‌تواند با ایجاد یک لایه روی سطح کاغذ و ایجاد اتصال با سطح کاغذ و همچنین افزایش ضخامت، باعث افزایش مقاومت کششی گردد [۱۳].



شکل ۳- مقادیر شاخص کشش کاغذهای پوشش‌دهی شده

شاخص ترکیدن

نتایج حاصل از بررسی نشان می‌دهد که شاخص ترکیدن کاغذ کرافت پوشش‌دهی شده در مقایسه با کرافت بی‌پوشش (شاهد)، بهبودیافته است (شکل ۴). بر پایه گزارش پژوهشگران از مهم‌ترین عوامل مؤثر بر شاخص مقاومت کاغذها می‌توان به قابلیت الیاف سلولزی، مساحت و طول فیبرها و نیروی حاصل از برهم‌کنش فیبرها اشاره کرد [۱۴]. هرچند که در این پژوهش به دلیل یکسان بودن نوع کاغذهای پوشش داده‌شده، از تأثیر قدرت فیبرهای سلولزی، مساحت و طول فیبرها و نیروی حاصل از برهم‌کنش فیبرها بر شاخص ترکیدن چشم‌پوشی گردیده است، بااین‌وجود روشن گردید پوشش‌دهی با استفاده از پلیمر زیست‌تخریب‌پذیر دارای پلی‌ونیل‌الکل بر مقاومت در برابر ترکیدن تأثیر مثبتی داشته است. این موضوع دور از انتظار نیست زیرا بنا بر پژوهش [۵] سرائیان و همکاران روشن گردیده است که بهره‌گیری از اتصال‌دهنده‌ی پلی‌ونیل‌الکل به شکل‌گیری پیوندهای هیدروژنی بین گروه‌های هیدروکسیل پلی‌ونیل‌الکل با اکسیژن سلولزی می‌انجامد. نتایج این پژوهش نشان داد که شاخص ترکیدن از نمونه شاهد به کاغذ پوشش‌دهی شده با محلول پکتین- ۱/۵ گرم پلی‌ونیل‌الکل- ۵٪ دی‌اکسید تیتانیوم روند افزایشی داشته، کم‌ترین مقدار این شاخص مربوط به کاغذ شاهد و بیش‌ترین مقدار مربوط به کاغذ با حداکثر درصد پوشش و مقادیر آن به ترتیب برابر ۲/۸۰۶ و ۴/۰۳۷ کیلو پاسکال مترمربع بر گرم است. در ضمن روی سطح نانوذره‌ی دی‌اکسید تیتانیوم گروه‌های دارای بار مثبت وجود دارد، بنابراین این نانوذره ماهیت قطبی دارد و قابلیت ایجاد پیوند هیدروژنی با بیوپلیمرهای طبیعی را دارد [۱].

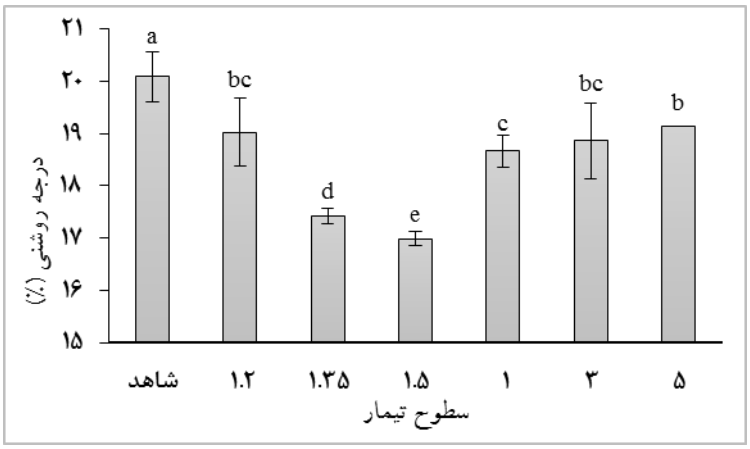


شکل ۴- مقادیر شاخص ترکیدن کاغذهای پوشش دهی شده

خواص نوری

درجه روشنی

قابلیت بازتابش نور با طول‌موج معین ۴۵۷ نانومتر از یک نمونه کاغذ، درجه روشنی آن کاغذ را نشان می‌دهد [۱۵]. در صورت نیاز به افزایش درجه روشنی می‌توان در فرمولاسیون پوشش‌دهی از موادی با درجه‌ی روشنی زیادتر مثل دی‌اکسید تیتانیوم استفاده کرد [۱۶]. در آزمون‌های گام نخست این پژوهش، با افزودن پلیمر پکتین- ۱/۵ گرم پلی ونیل‌الکل به کاغذ، درجه روشنی کاهش یافت و در آزمون گام دوم، با افزودن نانو دی‌اکسید تیتانیوم، افزایش درجه روشنی مشاهده گردید. این مطلب از افزایش فاکتور روشنایی (L*) نیز قابل استناد است. حداکثر مقدار درجه روشنی مربوط به کاغذ شاهد و برابر با ۲۰/۰۹ درصد و کمترین مقدار مربوط به کاغذ پوشش داده‌شده با پکتین-۱/۵ گرم پلی‌ونیل‌الکل و برابر با مقدار عددی ۱۶/۹۹ درصد است (شکل ۵).



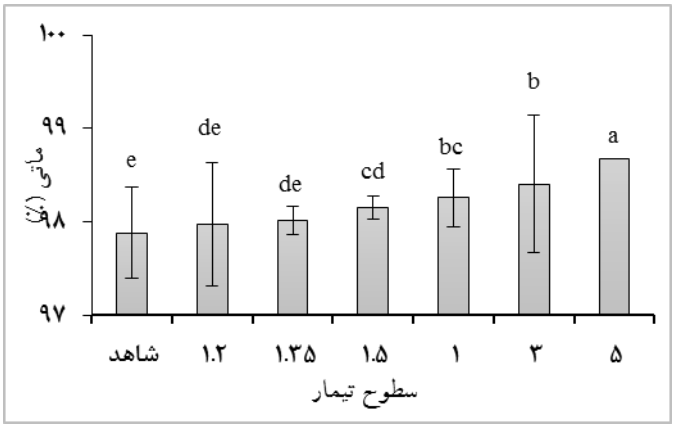
شکل ۵- مقادیر درجه روشنی کاغذهای پوشش دهی شده

ماتی

وزن پایه، ضریب جذب و ضریب پخش نور کاغذ از عوامل مؤثر بر ماتی کاغذ بوده و رابطه ماتی با این سه عامل به‌صورت مستقیم بوده و با افزایش یا کاهش هر یک از سه عامل مذکور، مقدار آن نیز افزایش یا کاهش می‌یابد [۱۷]. میزان تغییر ویژگی‌های نوری کاغذ پوشش‌دهی شده به‌عواملی چون نوع و مقدار اجزای پوشش مرتبط است و فرآیند پوشش‌دهی کاغذ از طریق پر کردن حفرات و فضای خالی بین الیاف موجب افزایش ماتی سطح کاغذ پوشش‌دهی شده می‌شود [۱۶]. مقدار پراکندگی نور

هنگامی‌که نور از کاغذ عبور می‌کند با سطحی از الیاف که با هوا در تماس است؛ ارتباط مستقیم دارد. هرچه سطح اتصال بین الیاف کمتر باشد، سطح در تماس با هوا بیشتر بوده و این سطح پیوند نیافته درصد بیشتری از نور را پراکنده می‌سازد. مهم‌ترین مشخصه مات‌کنندگی یک پرکننده، شاخص انکسار نور است. هر چه شاخص انکسار نور بیشتر باشد اثر مات‌کنندگی بیشتر است [۱۸].

در این پژوهش مشخص گردید که ماتی کاغذهای پوشش‌دهی شده از نانو کامپوزیت دی‌اکسید تیتانیوم در مقایسه با کاغذهای شاهد افزایش‌یافته است. وجود پوشش نانو دی‌اکسید تیتانیوم روی سطح کاغذ می‌تواند عامل این افزایش باشد [۱۵]. شکل ۶ نمودارهای روند افزایشی تدریجی ماتی را از کاغذ شاهد تا کاغذ پوشش‌دهی شده با پکتین- ۱/۵ گرم پلی‌ونیل الکل – ۵٪ نانو دی‌اکسید تیتانیوم نشان می‌دهد و مقادیر آن به ترتیب برابر ۹۷/۸۸ و ۹۸/۶۷ درصد است.



شکل ۶- مقادیر ماتی کاغذهای پوشش دهی شده

ویژگی‌های رنگی کاغذها

همان‌طور که در جدول ۲ مشاهده می‌شود، با استفاده از پوشش دارای پکتین- ۱/۵ گرم پلی‌ونیل‌الکل روی کاغذ، پارامتر روشنایی (L*) در ابتدا اندکی کاهش، ولی با افزودن نانو دی‌اکسید تیتانیوم به محلول پوشش‌دهی شده، این پارامتر افزایش یافت که نشان می‌دهد ماده پوشش‌دهنده باعث روشن‌تر شدن کاغذ گردیده است. بررسی پارامتر قرمزی- سبزی (a*) کاغذها از شاهد تا پکتین-۱/۵ گرم پلی ونیل‌الکل نشان داد که با افزایش مقدار نانو دی‌اکسید تیتانیوم در گام دوم آزمون، تمایل به قرمزی بیشتر می‌شود. بررسی پارامتر زردی- آبی (b*) کاغذها نشان داد که با افزودن محلول پکتین-۱/۵ گرم پلی‌ونیل‌الکل، رنگ زرد غالب و با افزودن نانو دی‌اکسید تیتانیوم به سمت آبی متمایل می‌گردد زیرا نانو دی‌اکسید تیتانیوم سفید است. بررسی پارامتر (ΔE) نماینده تغییرات رنگی نمونه‌هاست نشان داد که در پوشش‌دهی با افزودن دی‌اکسید تیتانیوم این پارامتر کاهش‌یافته است، زیرا این ماده در مقایسه با ترکیب پلیمرها از تغییرات رنگی جلوگیری می‌کند.

جدول ۲- مقادیر رنگ‌سنجی کاغذهای پوشش‌دهی شده با درصدهای مختلف مواد پوشش‌دهنده و شاهد

تیمار	L*	a*	b*	ΔE*
شاهد	۲/۰۸±۰/۱۴^{a}	۱۱/۴۵±۰/۲^{c}	۱۵/۸۲±۰/۱۲^{b}	۱۹/۶۳±۰/۲^{e}
پکتین- ۱/۲ گرم پلی‌ونیل‌الکل	۰/۷۸±۰/۱۸^{c}	۱۴/۹۱±۰/۱۴^{ab}	۱۶/۰۵±۰/۲^{b}	۲۱/۹۲±۰/۱۲^{b}
پکتین- ۱/۳۵ گرم پلی‌ونیل‌الکل	۰/۱۶±۰/۳^{d}	۱۴/۲۱±۰/۲۱^{ab}	۱۷/۸۳±۰/۱۸^{a}	۲۲/۸±۰/۲۷^{a}
پکتین- ۱/۵ گرم پلی‌ونیل‌الکل	-۰/۵۱±۰/۲۲^{cd}	۱۳/۰۶±۰/۱۴^{b}	۱۸/۱۹±۰/۴۳^{a}	۲۲/۷±۰/۱۶^{a}
پکتین- ۱/۵ گرم پلی‌ونیل‌الکل- ۱٪ دی‌اکسید تیتانوم	۰/۹۶±۰/۲۷^{bc}	۱۴/۱۵±۰/۱^{ab}	۱۶/۲۱±۰/۱۴^{b}	۲۱/۵۳±۰/۱۵^{c}
پکتین- ۱/۵ گرم پلی‌ونیل‌الکل- ۳٪ دی‌اکسید تیتانوم	۱/۱۳±۰/۱۷^{bc}	۱۴/۱۷±۰/۱۴^{ab}	۱۵/۷۵±۰/۱۵^{b}	۲۱/۰۸±۰/۳۶^{d}
پکتین- ۱/۵ گرم پلی‌ونیل‌الکل- ۵٪ دی‌اکسید تیتانوم	۱/۴۷±۰/۱۵^{b}	۱۴/۹۹±۰/۱۹^{a}	۱۵/۴۴±۰/۱۹^{b}	۲۱/۵۷±۰/۱۱^{c}

نتیجه‌گیری

استفاده از نانو مواد و پلیمرهای زیست‌تخریب‌پذیر باعث بهبود ویژگی‌های مکانیکی و نوری کاغذهای بسته‌بندی پوشش‌دهی شده می‌شود. این مواد جایگزین مناسب برای مواد پلاستیکی و پلیمرهای سنتزی هستند، چون قابلیت بازیافت دارند و اگر در محیط قرار بگیرند به‌آسانی تجزیه می‌شوند. در این پژوهش اثر کاغذهای پوشش‌دهی شده با محلول پکتین- ۱/۵ پلی‌ونیل‌الکل- ۵٪ نانو دی‌اکسید تیتانیوم روی ویژگی‌های مکانیکی جهت استفاده در بسته‌بندی بررسی شد و نتایج حاصل از اندازه‌گیری ویژگی‌های مقاومتی کاغذها نشان داد که با حضور پلی‌ونیل‌الکل و نانو دی‌اکسید تیتانیوم به‌ویژه با افزایش درصد این مواد ویژگی‌های مقاومتی بهبودیافته است، از علل مهم بهبود خواص مقاومتی افزایش سطوح پیوند و تقویت پیوند بین الیاف توسط مواد پوشش‌دهنده است که منجر به افزایش این ویژگی در کاغذهای پوشش‌دهی شده است. در مرحله اول درجه روشنی به دلیل افزودن پلیمرها باکمی کاهش روبه‌رو شد ولی در مرحله دوم با افزودن نانو دی‌اکسید تیتانیوم روند افزایشی مشاهده شد و در خواص ماتی نیز به‌طورکلی روند افزایشی تدریجی داشته است. با توجه به نتایج فوق می‌توان این‌گونه بیان کرد که بیشترین تأثیر در افزایش ویژگی‌های نوری را نانو ماده دی‌اکسید تیتانیوم به دلیل ماهیت خود داشته است.

منابع

[1] Oleyaei, S. A., Ghanbarzadeh, B., Moayedi, A. A., Poursani, P., Mousavi Baygi, S. F., and BakhshAmin, M. R., 2017. Characterization of functional properties of starch based nanobiocomposite films containing montmorillonite and titanium dioxide. Iranian Food Science and Technology Research Journal, 13(4): 611-626.

[2] Molaee Aghaee, E., Kamkar. A., Akhondzadeh Basti, A., Khanjari, A., and Kontominas, G.M., 2015. Effect of packaging with Chitosan biodegradable films formulated with Garlic essential oil (L sativum Allium) on chemical properties of chicken fillet. Iranian Journal of Health and Environment, 8(3): 379-390.

[3] Ridley, B.L., O'Neill, M.A., and Mohnen, D., 2001. Structure, biosynthesis, and oligogalacturonide-related signaling. Phytochemistry, 57: 929–967.

[4] Molaei, M., Azadfallah M., Hamzeh, Y., and Khodaeian Chegini, F., 2014. The effect of chitosan – poly (vinyl alcohol) coatings on strength and barrier properties of packaging paper. Iranian Journal of Wood and Paper Science Research, 30(2): 507-519.

[5] Saraeyan, A., Heydari, S., and Shakeri, A., 2015. Effect of coating paper made from bagasse soda pulp using biodegradable polymer. Iranian Journal of Wood and Paper Science Research, 31(2):204-210.

[6] Dufrecne, A., and Belgacem, M. N., 2013. Cellulose reinforced composites: from micro to nanoscale, overview. Polymer Science and Technology, 23(3): 277-286.

[7] Feghhi, Z., Sharifi, H., and Zabihzadeh, M., 2021. green Synthesis of titanium dioxide nanoparticles using peppermint extract and evaluation of its antibacterial properties. 5th International conference on Information Science Development of Nanotechnology. August 2021. In the Georgia.

[8] Vartianen, J., Tammelin, T., Pere, J., and Tapper, U., Harlin, A., 2010. Biohybrid barrier films from fluidized pectin and nanoclay. Carbohydrat Polymers, 82(3), 989-996.

[9] Akbari, M., Asadpour, Gh., and Nazarnezhad, N., 2016. The effect of water softening calcium carbonate on the strength properties of fluting paper made from OCC and NSSC pulps. Iranian Journal of Wood and Paper Science Research, 32(1): 118-130.

[10] Gallstedt, M., Brottman, A., and Hedenqvist, M.S., 2005. Packaging-related Properties of Protein- and Chitosan-coated Paper. Packaging Technology and Science, (18) 161-170.

[11] Feghhi, Z., Sharifi, H., and Zabihzadeh, M., 2021. Investigation of barrier properties of packaging papers coated with pectin nanocomposite reinforced with polyvinyl alcohol and titanium dioxide. 5th International conference on Information Science Development of Nanotechnology. August 2021. In the Georgia.

[12] Hoseinpoor, S., Layegh B., Farahnaky A., Mesbahi, G., Majzoobi M., and Darabzaded N., 2011. Cross-linking of Sugar Beet Pectin to Improve Its Functional Properties and Investigation of Effect of the Modified Pectin on Ketchup Characteristics. Iranian Food Science and Technology Research Journal, 7(3): 227-234.

[13] Gallstedt, M., Brottman, A., and Hedenqvist, M.S., 2005. Packaging-related Properties of Protein- and Chitosan-coated Paper. Packaging Technology and Science, 18(4): 161-170.

[14] Asadi khansari, R., Dehghani Firouzabadi, M., and Resalati, H., 2015. The effect of biodegradable coatings on the barrier properties of papers. Iranian Journal of Wood and Paper Industries, 7(1): 91-101.

[15] Tabei, A., 2016. Investigating the effect of methylation on the kraft lignin optical behavior through simulation of lignin-containing papers. Iranian Journal of Wood and Paper Science Research, 31(3): 410-424.

[16] Ebrahimpour Kasmani, J., Mahdavi, S., and Samariha, S., 2014. Improvement of Physical Properties and Printability of Wood Containing Paper by Light Weight Coting. Journal of Color Science and Tecnology, 7: 265-274.

[17] Afra, E., and Narchin, P., 2016. Study of the antibacterial effects and physical characters of paper coated with nanoclay and homogenized nano clay. Iranian Journal of Wood and Paper Industries, 7(4): 561-572.

[18] Sodeifi, B., Nazarnezhad, N., and Sharifi, S. H., 2019. Investigation of mechanical and optical properties of papers coated with Polycaprolactone - Nanocrystalline cellulose - zinc oxide Nanoparticle. Wood and Paper science research, 34(1): 31-46.

Investigation on the mechanical and optical properties of kraft paper coated with a combination of pectin, polyvinyl alcohol and nano titanium dioxide

Abstract

In this research, at the first stage of the study, pectin was reinforced with polyvinyl alcohol (PVA), and at the second stage, a combination of PVA reinforced pectin and nano titanium dioxide (TiO_2) was used to coat the packaging paper. After the coating process, the mechanical and optical properties of the samples were studied. Results showed that the second stage coating mixture enhanced the mechanical strength parameters of the papers (tear strength from 16.55 to 17.85 KPa.m^2/g, tensile strength from 56.38 to 69.97 Nm/g, and burst strength from 2.806 to 4.037 mNm^2/g). In the brightness test, the paper samples coated with the first stage mixture showed a brightness decrease, while samples coated with the second stage mixture showed a brightness increase (the minimum brightness was 16.99% and the maximum brightness was 20.09%). On the other hand, the opacity of the papers coated with the second stage mixture was increased (from 97.88% to 98.67%).

Keywords: Packaging paper, Pectin, Polyvinyl alcohol, Nano titanium dioxide, Mechanical properties, Optical properties.

Z. Feghhi[1]
S. H. Sharifi[2*]
S. M. Zabihzadeh[3]

[1] M.Sc. Graduate, Wood and Paper Science Department, Faculty of Natural Resources, Sari Agricultural Sciences and Natural Resource University Sari, Iran

[2] Assist. Prof., Wood and Paper Science Department, Faculty of Natural Resources, Sari Agricultural Sciences and Natural Resource University Sari, Iran

[3] Associate Professor, Department of wood and paper industry. Sari Agriculture Science and Natural Resources University, Sari, Iran

Corresponding author:
h.p.sharifi@sanru.ac.ir

Received: 2021/12/22
Accepted: 2022/04/07