بررسی خواص مقاومتی و نوری کاغذهای پوشش‌دهی شده با ترکیب کربوکسی‌متیل سلولز و مونت موریلونیت

محمدرضا نوروززاده[۱]
سید حسن شریفی[۲*]
نورالدین نظرنژاد[۳]

[۱] دانشجو مقطع دکتری رشته صنایع چوب و فراورده‌های سلولزی، گروه مهندسی چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ایران

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

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

مسئول مکاتبات:
h.sharifi@sanru.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۱/۱۴
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۶/۰۲

چکیده

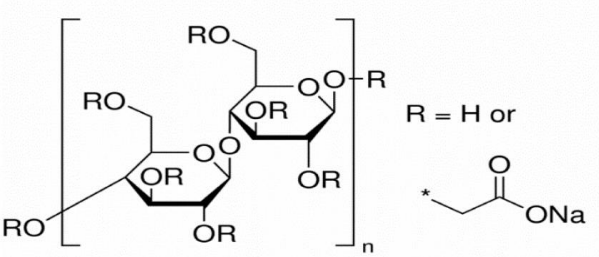
نانومواد زیستی و معدنی پایدار نظیر مونت موریلونیت به دلیل خواصی همچون زیست‌سازگاری و زیست‌تخریب‌پذیری جهت تولید محصولات مختلف مورد توجه محققان قرار گرفته است. در این پژوهش اثر پوشش‌دهی کاغذهای پوشش داده شده با کربوکسی‌متیل سلولز و مونت موریلونیت و ترکیب آن‌ها بر روی خواص مقاومتی و خواص نوری بررسی شد. برای این کار مواد پوشش‌دهی با شرایط مشخص کربوکسی‌متیل سلولز و مونت موریلونیت (۳، ۵ و۷٪) بر روی کاغذها اعمال شدند. همچنین کاغذها به‌وسیله میکروسکوپ الکترونی روبشی مورد مطالعه قرار گرفتند. نتایج حاصل از آزمایش‌ها نشان داد که ویژگی‌های مقاومتی (شاخص مقاومت به کشش، ترکیدن و پارگی) کاغذهای پوشش داده شده با افزودن درصد مونت موریلونیت افزایش یافته است. ترکیب کربوکسی‌متیل سلولز و مونت موریلونیت ۷٪ بهترین ویژگی‌های مقاومتی را نسبت به کاغذ شاهد داشته است. ویژگی درجه روشنی با افزودن مونت موریلونیت افزایش، ولی ماتی تغییر چشمگیری نکرده است. همچنین رنگ‌سنجی با افزودن مونت موریلونیت تا ۵٪ بهبودیافته ولی در نمونه ۷٪ کاهش رنگ‌سنجی مشاهده شد. علاوه بر این، بررسی تصاویر میکروسکوپی نشان داد که مونت موریلونیت به میزان قابل‌توجهی منافذ موجود در سطح کاغذ را نسبت به کاغذ شاهد پر می‌کنند.

واژگان کلیدی: کربوکسی‌متیل سلولز، مونت موریلونیت ، بسته‌بندی، پوشش‌دهی، زیست‌تخریب‌پذیری.

مقدمه

در دنیای نوین امروزی تصور کالایی تجاری بدون بسته‌بندی دور از ذهن و محال به نظر می‌رسد. هدف از بسته‌بندی مواد غذایی، افزایش طول عمر نگهداری، حفظ کامل آن‌ها از خطر عوامل فاسدکننده بیرونی و همچنین حمل و نقل بهتر و آسان‌تر آن‌ها می‌باشد [۱]. امروزه تقاضای زیادی برای ساختن محصولات بسته‌بندی دوستدار محیط‌زیست به‌عنوان جایگزینی برای منابع غیر تجدیدپذیر وجود دارد. همچنین پلیمرهای مصنوعی به سبب ماندگاری بالا در محیط‌زیست، ره آورد خطرناکی برای اکوسیستم ما محسوب می‌شوند؛ بنابراین با توجه به مشکلات آلودگی‌های زیست‌محیطی و افزایش قیمت نفت و فرآورده‌های پتروشیمی استفاده از پلیمرهای طبیعی به عنوان جایگزین پلیمرهای رایج حاصل از مشتقات نفتی توجه همگان را به خود جلب کرده است [۲]. عمده مواد پلیمری طبیعی که در ساخت فیلم‌ها و پوشش‌ها به کار می‌روند شامل پلی‌ساکاریدها، لیپیدها، پروتئین‌ها و یا

ترکیبی از آن‌ها هستند که بـه علـت ایجـاد درصـد پیونـد هیدروژنی زیاد، مورد توجه قرار گرفته‌انـد [۳]. کاغـذ یـک ماده زیسـت‌تخریب‌پذیر اسـت کـه بـه دلیـل هزینـه کـم، مقاومت خوب، وزن سبک و قابلیـت بازیـابی آن، بـه طـور گسترده‌ای در بسـته‌بندی مـواد در صـنایع زیـادی ماننـد الکترونیک، غذایی و دارویی استفاده می‌شـود. زنجیره‌هـای سلولزی توسط پیوندهای هیدروژنی به هم متصل هسـتند که به طور مستقیم خواص فیزیکی، شـیمیایی و مکـانیکی کاغذ را تحت‌تأثیر قرار می‌دهنـد. خـواص مکـانیکی کاغـذ می‌تواند با استفاده از پلیمرهـای غیـر تجدیدپـذیر اصـلاح شود. از طرف دیگـر پوشـش‌های زیسـت پلیمـری، فوایـد زیست‌محیطی بهتری مانند زیسـت‌تخریب‌پذیری، قابلیـت بازیابی، غیرسمی بـودن و زیست‌سـازگاری در مقایسـه بـا پلیمرهـای سـنتزی مرسـوم دارنـد [۴]. بـه‌منظور بهبـود ویژگی‌های کاغذ، پلیمرهای زیست‌تخریب‌پذیر را می‌توان با روش‌های متفاوت بر روی کاغذ و مقوا، پوشش‌دهی کرد که این پوشش، به نـوع مـواد پوشـش‌دهی و نـوع کاغـذ مـورد استفاده بستگی دارد [۵]. این روش یـک فرآینـد صـنعتی مهم اسـت کـه بـرای بهبـود ظـاهر، قابلیـت چاپ‌پـذیری، خـواص ممـانعتی و مقـاومتی کاغـذ اسـتفاده می‌شـود. در صنعت، بسیاری از کاغذها را با ترکیبات مختلفـی پوشـش می‌دهند تا سفیدی، صافی، رنگ، چاپ‌پذیری و درخشـش آن بهبود یابد [۶]. نانوکامپوزیت‌ها سـامانه‌های دوفـازی از ماتریس پلیمری و پرکننده هستند که حداقل یکی از ابعاد فاز پرکننده، بین ۱۰۰-۱ نانومتر است. دلیل بهبود خواص مختلف نانوکامپوزیت‌ها مربوط به اندازه ذرات فاز پرکننـده است. بـا کـاهش انـدازه ذرات فـاز پرکننـده، سـطح ویـژه افزایش و متوسط فاصله بین ذرات کاهش می‌یابد و ناحیـه بین سطحی که مسئول ارتبـاط بـین مـاتریس و پرکننـده است، افزایش قابل ملاحظه‌ای نشـان می‌دهـد. در نتیجـه، تعـداد برهم‌کنش‌هـای بـین مـاتریس و پرکننـده افـزایش می‌یابد. این امر باعث بهبود خواص نفوذپذیری و مکـانیکی فیلم‌های نانوکامپوزیت نسبت به فیلم‌های معمولی می‌شود [۷ و ۸]. سـلولز فراوان‌تـرین زیسـت پلیمـر موجـود در طبیعـت اسـت. بـه دلیـل فراوانـی، سـهولت تولیـد، تجدیدپذیری منابع تولید، قیمت کم، زیسـت‌تخریب‌پذیری بالا، غیرسمی و غیر حساسیت‌زا بودن، توجه به اسـتفاده از این زیسـت پلیمـر در تولیـد مـواد بسـته‌بندی، به‌صـورت روزافزون در حـال افـزایش اسـت. کربوکسـی‌متیل سـلولز (CMC) یکی از مشـتقات سـلولز بـوده و زیسـت پلیمـری خطی، محلول در آب، زیسـت‌تخریب‌پذیر و زیست‌سـازگار است که از سلولز طبیعی از طریق استخراج شیمیایی تهیه می‌شود. CMC توانایی تشـکیل فیلم‌هـای مقـاوم، شـفاف، پیوسته و یکنواخت را دارد [۹].



شکل ۱- ساختار مولکولی کربوکسی‌متیل سلولز

این ماده در فرآیندهای کاغذسازی به دلیل تشکیل فیلم خوب و انحلال سریع در آب به‌صورت پوشش‌دهی روی کاغذ و یا در پایانه تر کاغذسازی قابل‌استفاده بوده و مقاومت در برابر ساییدگی، یکنواختی سطح، ویژگی ضدشکنندگی، قدرت کشش و سختی کاغذ را افزایش می‌دهد و برای اصلاح شیمیایی الیاف نیز از آن استفاده می‌شود [۱۰ و ۱۱]. یکی از مهم‌ترین پیشرفت‌ها در زمینه پلیمر، ورود فناوری نانو به این عرصه است. تولید نانوکامپوزیت‌های پلیمری با خاک رس، یکی از جدیدترین پیشرفت‌ها در فناوری پلیمر به شمار می‌آید. تولید پلیمرهای نانوکامپوزیتی روز به روز گسترش پیدا کرده و طی سال‌های اخیر استفاده از خاک رس در فیلم‌های زیست‌تخریب‌پذیر نیز مورد توجه قرار گرفته است. فیلم‌های حاصل از ترکیب نانومواد و زیست پلیمرها خواص کاربردی بهتری را نشان می‌دهند که مهم‌ترین آن‌ها افزایش مقاومت مکانیکی است. افزایش بسته‌بندی فعال،

ایجاد شفافیت و بهبود خواص ظاهری فیلم‌ها از دیگر مزایای نانوکامپوزیت‌های زیست‌پلیمری هستند. مونت موریلونیت[1](MMT) رایج‌ترین سیلیکات لایه‌ای است که به دلیل قیمت مناسب، دسترسی آسان و سازگاری با محیط‌زیست در تولید نانوکامپوزیت‌ها استفاده می‌شود. مونت موریلونیت سازگارترین نوع خاک رس با زیست‌پلیمرهای آب‌دوست نظیر نشاسته به شمار می‌آید. افزودن مقادیر کمی مونت موریلونیت می‌تواند بسیاری از خواص فیزیکی و شیمیایی فیلم نشاسته را بهبود ببخشد [۱۲]. در این پژوهش اثر کاغذهای پوشش‌دهی شده با اختلاط‌های متفاوت کربوکسی‌متیل سلولز و سدیم مونت موریلونیت بر روی خواص مقاومتی (کششی، ترکیدگی و پارگی) و نوری (روشنایی، ماتی و رنگ‌سنجی) جهت استفاده در صنایع بسته‌بندی غذایی بررسی می‌شود.

مواد و روش‌ها

کربوکسی‌متیل سلولز با گرانروی متوسط (فرمول شیمیایی CH_2CO_2H)، مونت موریلونیت (با فرمول شیمیایی $(Al_{1.67}Mg_{0.33})[(OH)_2Si_4O_{10}].Na_{0.33}(H_2O)_4$) و با ظرفیت تبادل بار ۹۲/۶ meq/100g (نانو خاک رس) و ابعاد ۱۵۰-۳۰۰ نانومتری از شرکت زیگما آلدریچ خریداری شدند. همچنین گلیسرول (با فرمول شیمیایی $C_3H_8O_3$، وزن مولکولی ۹۲/۱۰ g/mol و دانسیته g/cm^3 ۱/۲۶) از شرکت زیگما آلدریچ تهیه شد. همچنین کاغذ کرافت با گراماژ g/m^2 ۵±۷۰، رنگبری نشده از کارخانه چوب و کاغذ مازندران تهیه شد.

تهیه محلول‌های پوشش‌دهی

آماده‌سازی سوسپانسیون کربوکسی‌متیل سلولز

یک گرم پودر کربوکسی‌متیل سلولز در ۸۰ میلی‌لیتر آب مقطر با استفاده از همزن مغناطیسی در دمای ۷۵ درجه سلسیوس به مدت ۱۰ دقیقه حل شد.

آماده‌سازی سوسپانسیون مونت موریلونیت

پودر نانو مونت موریلونت در سه نسبت وزنی (۳، ۵، ۷ درصد بر مبنای وزن خشک کربوکسی‌متیل سلولز) در ۲۰ میلی‌لیتر آب مقطر درون حمام فراصوت به مدت ۲۰ دقیقه فراوری شد.

افزودن گلیسرول به‌عنوان نرم‌کننده به سوسپانسیون حاصل

سوسپانسیون مونت موریلونیت به محلول کربوکسی‌متیل سلولز اضافه گردید و با همزن مغناطیسی به مدت یک ساعت در دمای ۹۰ درجه سلسیوس و با سرعت ۴۰۰ دور بر دقیقه هم زده شد. پس از اختلاط فوق، گلیسرول به عنوان نرم‌کننده (۰/۳ گرم بر مبنای وزن خشک کربوکسی‌متیل سلولز) به سوسپانسیون اضافه شد و به مدت ۱۵ دقیقه تحت هم‌زدن قرار گرفت. سپس سوسپانسیون مورد نظر را روی کاغذها پوشش‌دهی کرده و ویژگی‌های مقاومتی و نوری آن‌ها بررسی گردید.

روش پوشش‌دهی

کاغذهای کرافت با وزن پایه g/m2 5±70، تهیه شد و محلول‌های پوشش‌دهی بر روی کاغذها اعمال گردیدند. جهت این کار مقدار cc15 از محلول پوشش‌دهی بطور یکنواخت بر روی کاغذها، توسط دستگاه پوشش دهی آزمایشگاهی Auto Bar Coater (GBC-A4 GIST CO. Ltd) و با میله شماره ۱۴ پخش شد. سپس نمونه‌ها توسط گیره مهار شده و در هوا خشک شدند.

تعیین مشخصات با استفاده از میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM)

جهت بررسی وجود و پراکنش مونت موریلونیت در کاغذ پوشش‌دهی شده از آزمونگر مدل Tescan S9000 ساخت کشور جمهوری چک استفاده گردید. به علت هدایت الکتریکی مختلف نمونه‌ها قبل از تهیه تصاویر میکروسکوپی نمونه‌ها با استفاده از طلا تحت پوشش قرار گرفتند.

تعیین شاخص مقاومت به کشش، ترکیدن و پارگی

[1] Montmorillonite

برای تعیین ویژگی‌های کاغذ، نمونه‌ها در شرایط کلیما (رطوبت نسبی ۵۰±۲ % و دمای ۲۳±۱ °C) به مدت ۲۴ ساعت مطابق با استاندارد TAPPI T 402 sp- 98 قرار گرفتند. اندازه‌گیری شاخص مقاومت به کشش نمونه‌های پوشش‌دار با دستگاه SANTAM مدل STM-20و استاندارد TAPPI T 404 OM-98، شاخص مقاومت به ترکیدن با دستگاه Regmed مدل BT-21P و استاندارد TAPPI T403 om-02 و شاخص مقاومت به پارگی با دستگاه Sanatazma و استاندارد TAPPI T414 om-04 انجام گرفت.

ویژگی‌های نوری

ماتی بر اساس استاندارد TAPPI T425 om- 91 و درجه روشنی بر اساس استاندارد TAPPI T452 om- 92، توسط دستگاه ZB-A Colorimeter اندازه‌گیری شدند.

رنگ‌سنجی (ΔE)

رنگ نمونه‌ها توسط دستگاه هانترلب با استاندارد TAPPI T507مورد ارزیابی قرار گرفت. میزان رنگ، با استفاده از پارامترهای هانتر بر حسب روشنایی (L)، زردی - آبی (b) و قرمز- سبز (a) بیان گردید. ΔE میزان اختلاف رنگ نمونه‌ها با صفحه استاندارد را نشان می‌دهد و معیاری برای سنجش میزان شفافیت است. داده‌ها در طی سه اندازه‌گیری از نقاط مختلف کاغذها (یکی در مرکز و دو عدد در پیرامون) به‌دست‌آمده و از آن‌ها میانگین گرفته شد.

روش آماری

تجزیه‌وتحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار آماری SPSS، از طرح کاملاً تصادفی با آنالیز واریانس یک‌طرفه و در نهایت، گروه‌بندی میانگین‌ها به کمک آزمون دانکن (در سطح ٪۵) انجام شد.

نتایج و بحث

نتایج حاصل از اندازه‌گیری شاخص مقاومت‌های کششی، ترکیدگی و پارگی و همچنین درجه روشنی، ماتی و رنگ‌سنجی کاغذها قبل از پوشش‌دهی (شاهد) و بعد از پوشش‌دهی با کربوکسی‌متیل سلولز و مونت موریلونیت به ترتیب در جدول ۱ آمده است.

جدول ۱- نتایج حاصل از اندازه‌گیری ویژگی‌های کاغذهای پوشش‌دهی شده و نمونه شاهد

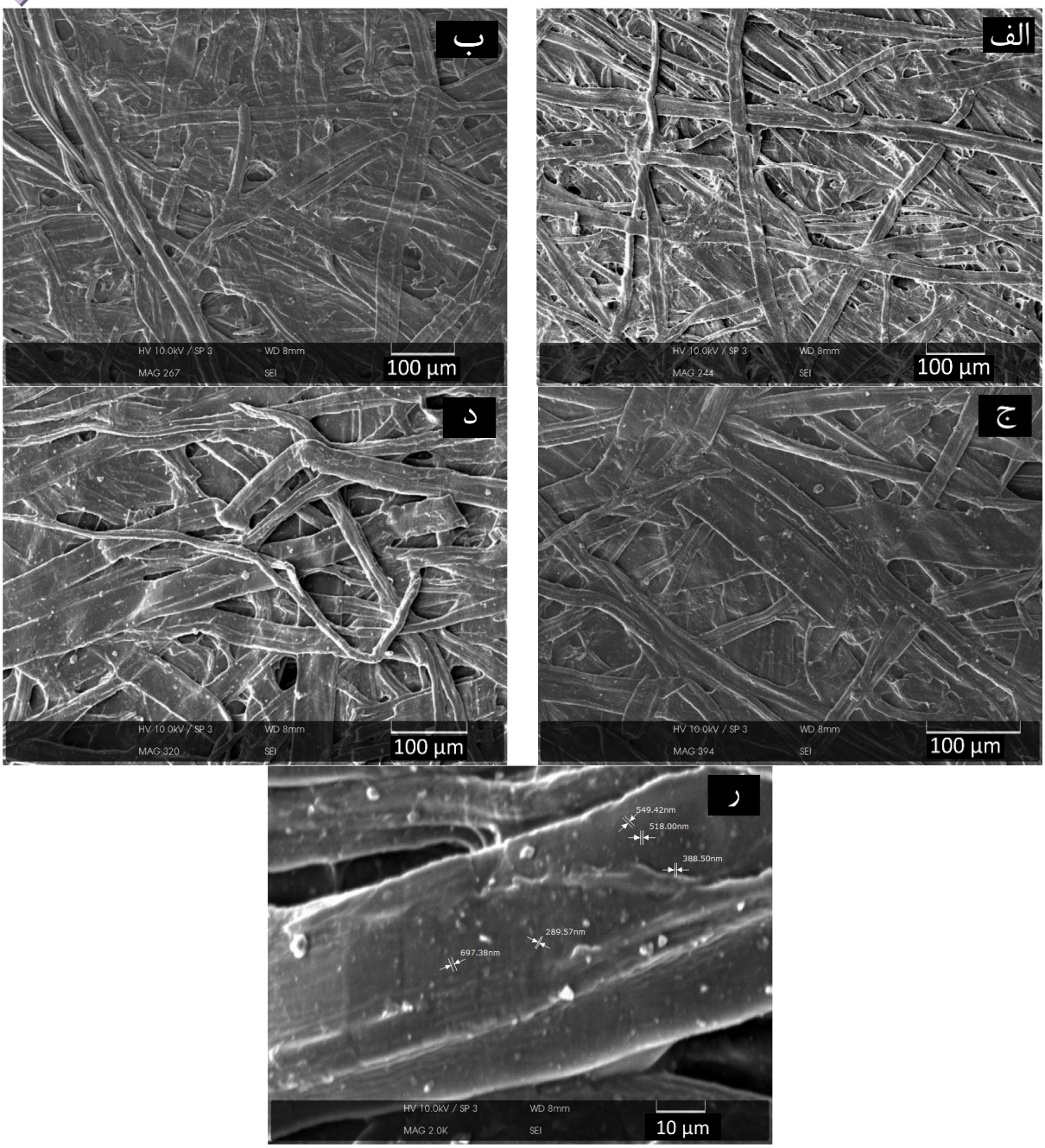
تیمار	کد تیمار	شاخص مقاومت به کشش* (N.m/g)	شاخص مقاومت به ترکیدن* ($Kpa.m^2/g$)	شاخص مقاومت به پارگی* ($mN.m^2/g$)	درجه روشنی* (٪)	درجه ماتی** (٪)	رنگ‌سنجی* (ΔE)
شاهد	شاهد	۷۰/۷۵	۳/۳۷	۴/۳۱	۲۴/۳۸	۹۷/۵۲	۲۰/۰۷
CMC-MMT ٪۳	۳	۷۲/۴۴	۳/۷۶	۴/۶	۲۴/۶۵	۹۷/۵۷	۲۱/۰۷
CMC-MMT ٪۵	۵	۷۷/۰۸	۴/۱۳	۴/۷۲	۲۴/۹۷	۹۷/۷	۲۱/۲۷
CMC-MMT ٪۷	۷	۸۶/۲۶	۴/۳۶	۴/۸۴	۲۶/۷۸	۹۷/۷۲	۱۸/۱۸

*** معنی‌دار شدن در سطح ٪۵**

**** معنی‌دار نشدن در سطح ٪۵**

بررسی ساختاری با میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM)

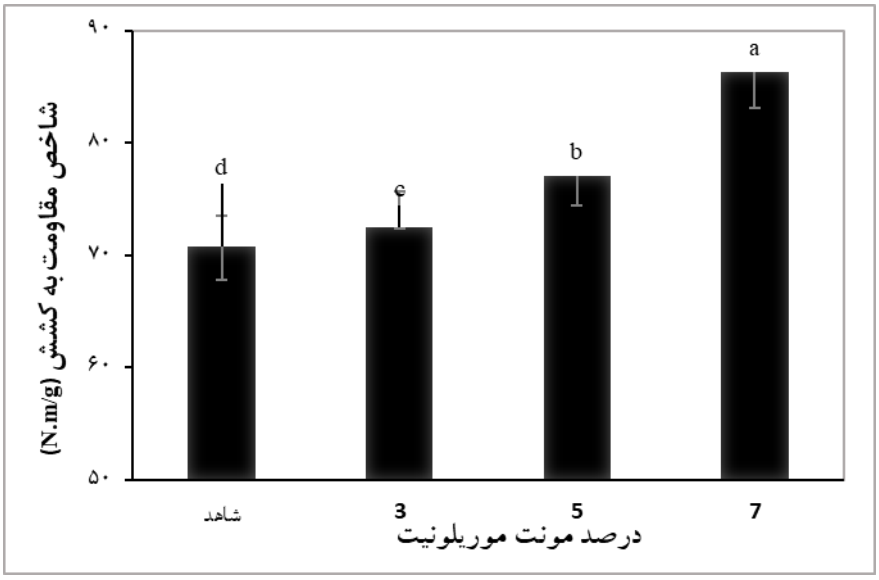
شکل ۲ تصویر SEM از سطح کاغذهای مورد آزمون را نشان می‌دهد. شکل ۲ (الف) مربوط به کاغذ شاهد و شکل‌های ۲ (ب) از سطح کاغذ پوشش‌دهی شده با کربوکسی‌متیل سلولز و مونت موریلونیت ٪۳، ۲ (ج) مربوط به مونت موریلونیت ٪۵ و ۲ (د، ر) مرتبط با مونت موریلونیت ٪۷ می‌باشند. تصاویر میکروسکوپی مربوط به کاغذهای پوشش‌دهی شده به‌وضوح نشان می‌دهند که طی فرایند پوشش‌دهی نانوذرات توانسته‌اند به میزان قابل‌توجهی منافذ موجود در سطح کاغذ را نسبت به کاغذ شاهد پر کنند که با نتایج یافته‌های Kiaei و همکاران (۲۰۲۱) و Kasmani و همکاران (۲۰۲۱) مطابقت داشت [۱۳ و ۱۴].



شکل ۲- تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی از نمونه‌های کاغذ شاهد (الف) و پوشش داده شده با کربوکسی‌متیل سلولز و مونت موریلونیت ٪۳ (ب)، ٪۵ (ج) و ٪۷ (د، ر)

شاخص مقاومت در برابر کشش

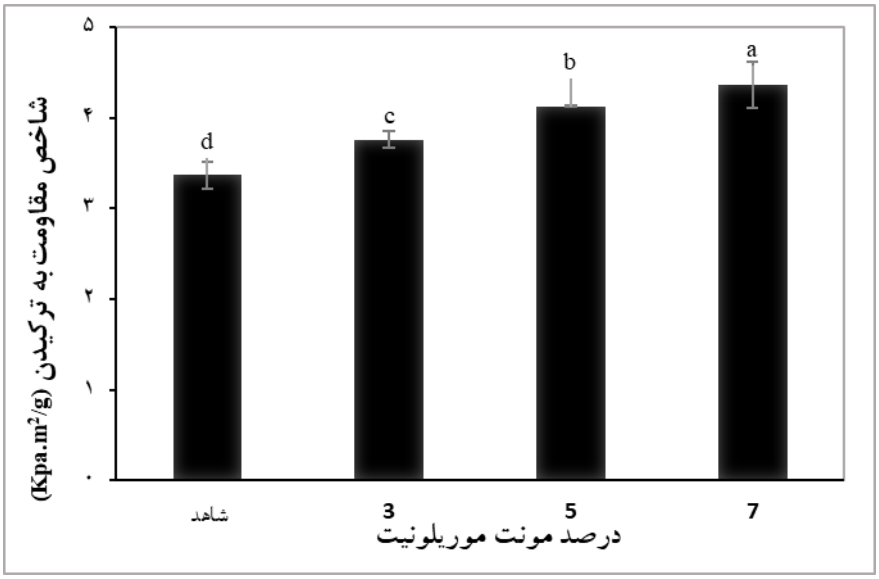
نتایج حاصل از آزمون تجزیه واریانس شاخص مقاومت به کشش تیمارها نشان می‌دهد که بین این مقادیر در سطح خطای ٪۵، در سطوح مختلف تیمارها اختلاف معنی‌دار آماری وجود دارد همچنین با افزایش مونت موریلونیت از ۳٪ به ۷٪، شاخص کشش به‌وضوح می‌یابد. همان‌طور که در شکل ۳ نشان داده شده است بیشترین مقدار شاخص مقاومت به کشش مربوط به مونت موریلونیت ۷٪ و کمترین مقدار مربوط به نمونه شاهد می‌باشد. کربوکسی‌متیل سلولز توانسته با ایجاد پیوندهای هیدروژنی و الکتروستاتیکی با مونت موریلونیت و همینطور الیاف کاغذ پیوندی قوی میان آن‌ها ایجاد کند. همچنین مونت موریلونیت با پر کردن فضاهای خالی که در شکل ۲ (د، ر) نشان داده شد؛ سبب افزایش استحکام و مقاومت کششی کاغذها شده است [۱۲و ۱۵].



شکل ۳- شاخص مقاومت به کشش کاغذهای پوشش داده شده با درصدهای مختلف مواد پوشش‌دهنده و شاهد

شاخص مقاومت در برابر ترکیدن

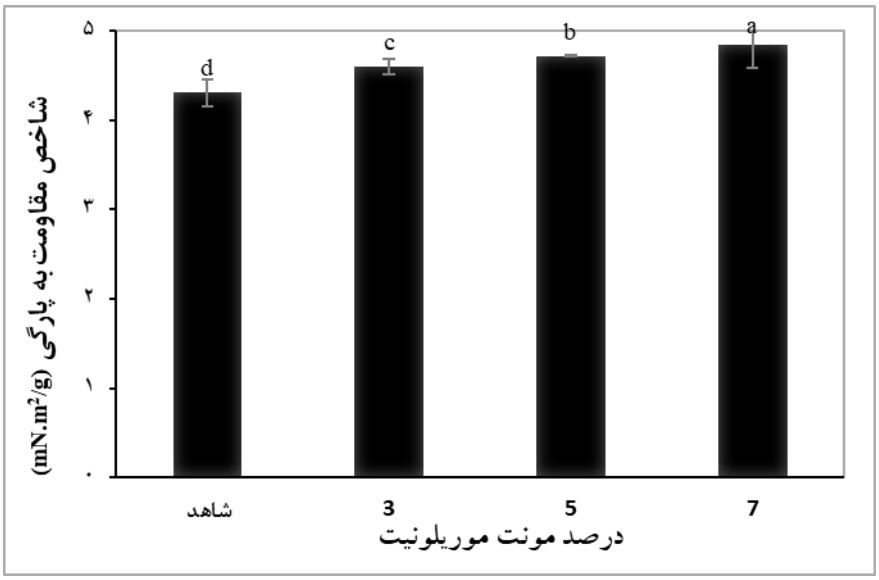
نتایج حاصل از آزمون تجزیه واریانس شاخص مقاومت به ترکیدن تیمارها نشان می‌دهد که بین این مقادیر در سطح خطای ۵٪، در سطوح مختلف تیمارها اختلاف معنی‌داری وجود دارد. در مقایسه با نمونه شاهد با مونت موریلونیت، افزایش شاخص مقاومت به ترکیدن مشخص است. همچنین با افزایش مونت موریلونیت از ۳٪ به ۷٪، افزایش شاخص ترکیدن به طور واضح مشخص می‌باشد همان‌طور که در شکل ۴ نشان داده شده است بیشترین مقدار شاخص مقاومت به ترکیدن مربوط به مونت موریلونیت ۷ ٪ و کمترین مقدار مربوط به نمونه شاهد می‌باشد. مهم‌ترین دلیل برای تقویت شاخص مقاومت به ترکیدن در اثر افزودن مونت موریلونیت، برقراری پیوندهای بین سطحی قوی‌تر و بیشتر بین زنجیرهای کربوکسی‌متیل سلولز و لایه‌های پخش شده مونت موریلونیت، پرکردن فضاهای خالی و افزایش نواحی بلوری بوده است که در شکل ۲ (د، ر) مشخص می‌باشد [۱۶].



شکل ۴- شاخص مقاومت به ترکیدن کاغذهای پوشش داده شده با درصدهای مختلف مواد پوشش‌دهنده و شاهد

شاخص مقاومت در برابر پاره شدن

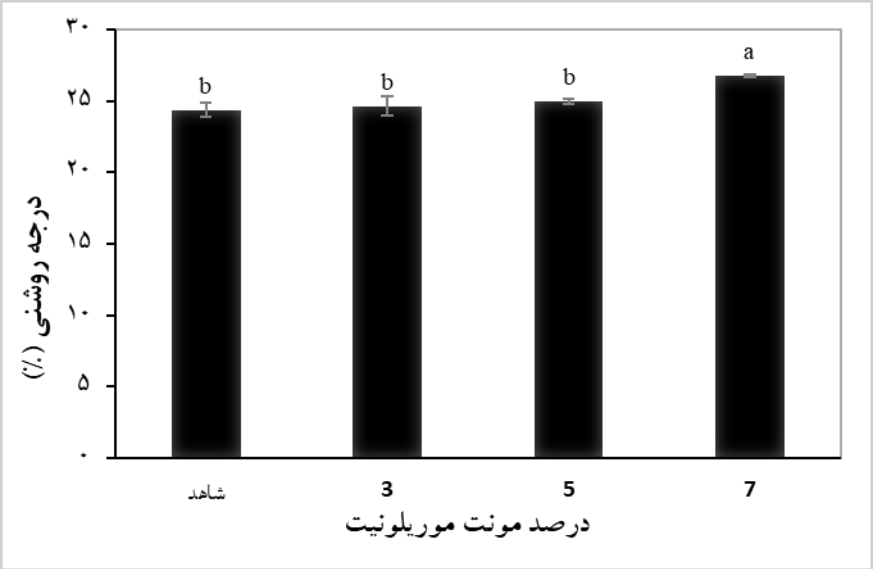
نتایج حاصل از آزمون تجزیه واریانس شاخص مقاومت به پاره شدن تیمارها نشان می‌دهد که بین این مقادیر در سطح خطای ۵٪، در سطوح مختلف تیمارها اختلاف معنی‌دار آماری وجود دارد. همچنین بر طبق گروه‌بندی دانکن نیز مقادیر تیمارهای مختلف در چهار گروه قرار گرفته‌اند. در مقایسه با نمونه شاهد با مونت موریلونیت، افزایش شاخص مقاومت به پاره شدن مشخص است. همچنین با افزایش مونت موریلونیت از ۳٪ به ۷٪، افزایش شاخص پاره شدن به طور واضح مشخص می‌باشد. همان‌طور که در شکل ۵ نشان داده شده است بیشترین مقدار شاخص مقاومت به پاره شدن مربوط به مونت موریلونیت ۷ ٪ و کمترین مقدار مربوط به نمونه شاهد می‌باشد. کربوکسی‌متیل سلولز پس از پوشش‌دهی وارد فضای خالی بین الیاف کاغذ شده و پس از پلیمرشدن، تشکیل یک فیلم یکنواخت بر روی سطوح کاغذ داده و در نتیجه علاوه بر پیوند شیمیایی با گروه‌های هیدروکسیل سطوح الیاف به‌صورت مکانیکی نیز الیاف را کنار همدیگر قرار می‌دهد. یکی دیگر از علل آن را می‌توان به پیوندهای هیدروژنی و کووالانسی بین گروه‌های هیدروکسیل کاغذ با مونت موریلونیت نسبت داد که می‌تواند باعث بهبود پیوندهای بین‌مولکولی بین کاغذ و ترکیب پوشش‌دهی شود [۱ و ۱۷].



شکل ۵- شاخص مقاومت به پارگی کاغذهای پوشش داده شده با درصدهای مختلف مواد پوشش‌دهنده و شاهد

درجه روشنی

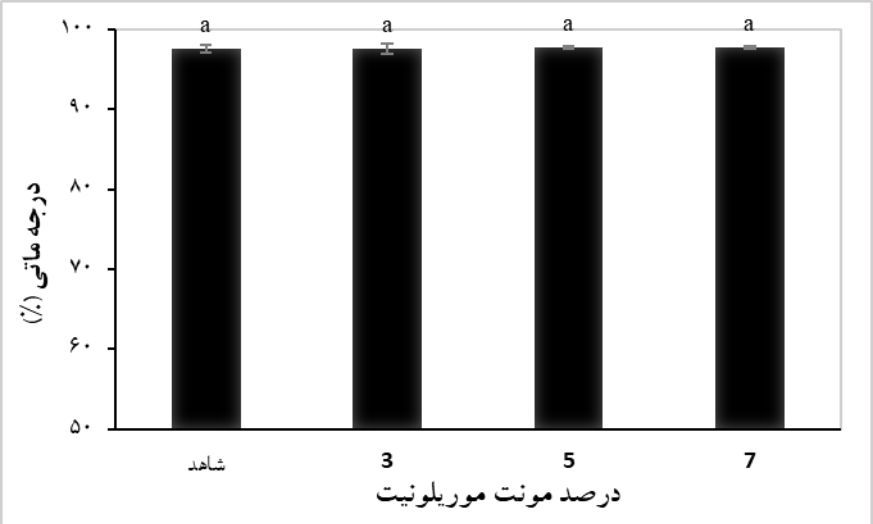
نتایج حاصل از آزمون تجزیه واریانس درجه روشنی تیمارها نشان می‌دهد که بین این مقادیر در سطح خطای ۵٪، در سطوح مختلف تیمارها اختلاف معنی‌دار آماری وجود دارد. نتایج گروه‌بندی نیز نشان می‌دهد که در تمامی سطوح موردمطالعه با افزایش مونت موریلونیت از ۳٪ به ۷٪، درجه روشنی افزایش می‌یابد. افزون بر این مونت موریلونیت به دلیل اینکه ماده‌ای با رنگ کرم روشن است تا حدی درجه روشنی نمونه پوشش داده شده را بهبود بخشیده است. همچنین با افزایش مونت موریلونیت از ۳٪ به ۷٪، روشنی به طور واضح افزایش یافته است. همان‌طور که در شکل ۶ نشان داده شده است بیشترین مقدار درجه روشنی مربوط به مونت موریلونیت ۷ ٪ و کمترین مقدار مربوط به نمونه شاهد می‌باشد. به‌کارگیری پرکننده‌های معدنی سبب تغییر و بهبود ویژگی‌های نوری در انواع کاغذها می‌شود؛ اما میزان این تغییرات متأثر از ساختار کاغذ، اندازه و سطح ویژه پرکننده است که در نهایت باعث پراکنش نور و افزایش خواص نوری در کاغذ می‌شوند [۱۸].



شکل ۶- درجه روشنی کاغذهای پوشش داده شده با درصدهای مختلف مواد پوشش‌دهنده و شاهد

درجه ماتی

نتایج حاصل از آزمون تجزیه واریانس ماتی تیمارها نشان می‌دهد که بین این مقادیر در سطح خطای ۵٪، در سطوح مختلف تیمارها اختلاف معنی‌دار آماری وجود ندارد. همچنین با افزایش مونت موریلونیت از ۳٪ به ۷٪، درجه ماتی نمونه‌ها به مقدار کمی بیشتر شده است. همان‌طور که در شکل ۷ نشان داده شده است کمترین مقدار ماتی مربوط نمونه شاهد و بیشترین مقدار مربوط به مونت موریلونیت ۷ ٪ می‌باشد؛ بنابراین تغییرات اندک و یا عدم تغییر ماتی می‌تواند فقط متأثر از افزایش پیوند بین الیاف باشد. مقدار پراکندگی نور 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 [۱۹]. همچنین ذرات پرکننده پراکندگی نور را به خاطر فضاهای خالی آن‌ها افزایش داده و افزودن آن‌ها ماتی کاغذها را بالا برد که با نتایج یافته‌های ابراهیم‌پور کسمانی و همکاران (۲۰۲۱) مطابقت داشت [۱۳].



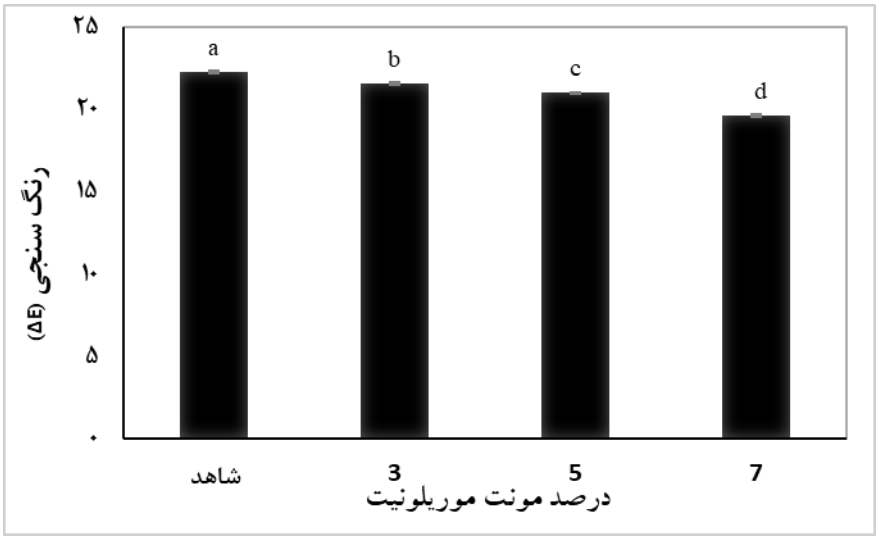
شکل ۷- درجه ماتی کاغذهای پوشش داده شده با درصدهای مختلف مواد پوشش‌دهنده و شاهد

رنگ‌سنجی (ΔE)

نتایج حاصل از آزمون تجزیه واریانس رنگ‌سنجی تیمارها نشان می‌دهد که بین این مقادیر در سطح خطای ۵٪، در سطوح مختلف تیمارها اختلاف معنی‌دار آماری وجود دارد. نتایج گروه‌بندی نیز نشان می‌دهد که تیمارهای مختلف در ۳ گروه متفاوت قرار گرفته‌اند. رنگ‌سنجی در تمامی سطوح موردمطالعه با افزایش مونت موریلونیت از ۳٪ تا ۵٪ به مقدار اندکی افزایش و سپس در ۷٪ کاهش می‌یابد. همان‌طور که در جدول ۲ و شکل ۸ نشان داده شده است کمترین مقدار رنگ‌سنجی مربوط به مونت موریلونیت ۷٪ و بیشترین مقدار مربوط به مونت موریلونیت ۵٪ می‌باشد. پارامتر روشنایی (L*) با افزودن مونت موریلونیت از ۳ تا ۷٪ به محلول پوشش‌دهی، افزایش یافت که نشان می‌دهد ماده پوشش‌دهنده باعث روشن‌تر شدن کاغذ گردیده است. بررسی پارامتر قرمزی - سبزی (a*) کاغذها از شاهد تا ۷٪ مونت موریلونیت نشان داد که با افزایش مقدار مونت موریلونیت، تمایل به سبزی بیشتر شده و کاغذ شاهد به قرمزی تمایل بیشتری داشته است. بررسی پارامتر زردی - آبی (b*) کاغذها نشان داد که با افزایش مقدار مونت موریلونیت، زردی بیشتر می‌گردد [۱۳]. بررسی پارامتر رنگ‌سنجی نماینده تغییرات رنگی نمونه‌هاست که نشان داد، پوشش‌دهی با افزودن مونت موریلونیت تا ۵٪ این پارامتر بهبودیافته است، زیرا دو فاکتور (L* و b*) بر این افزایش تأثیرگذار بوده است و کاهش فاکتور (a*) سبب شده تا پارامتر رنگ‌سنجی در کاغذ پوشش‌دهی شده با مونت موریلونیت ۷٪ نسبت به کاغذهای شاهد و ۳ تا ۵٪ کمتر باشد [۱۶].

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

تیمار	کد تیمار	L*	a*	b*	رنگ‌سنجی* (ΔE)
شاهد	شاهد	۳/۳۷	۱۳/۸۱	۱۴/۱۶	۲۰/۰۷
CMC-MMT ٪۳	۳	۳/۳۸	۱۳/۲	۱۶/۰۶	۲۱/۰۷
CMC-MMT ٪۵	۵	۴/۳۱	۱۲/۶۷	۱۶/۵۲	۲۱/۲۷
CMC-MMT ٪۷	۷	۴/۷۱	۵/۵۴	۱۶/۶۱	۱۸/۱۸



شکل ۸- رنگ‌سنجی کاغذهای پوشش داده شده با درصدهای مختلف مواد پوشش‌دهنده و شاهد

نتیجه‌گیری

استفاده از نانوماده زیست‌تخریب‌پذیر می‌تواند باعث بهبود ویژگی‌های مقاومتی و نوری کاغذهای پوشش‌دهی شده شود. این مواد جایگزینی مناسب برای مواد پلاستیکی و پلیمرهای سنتزی می‌باشند. در این پژوهش اثر کاغذهای پوشش‌دهی شده با تیمارهای متفاوت

کربوکسی‌متیل سلولز و مونت موریلونت بر روی ویژگی-های مقاومتی و نوری جهت استفاده در بسته‌بندی مواد غذایی بررسی شد. نتایج حاصل از اندازه‌گیری ویژگی‌های مقاومتی کاغذهای پوشش‌دهی شده نشان داد که با حضور مونت موریلونیت شاخص‌های مقاومت به کشش، ترکیدن و پاره شدن نسبت به نمونه شاهد بهبود یافته است. این افزایش را می‌توان در نتیجه پیوند شیمیایی گروه‌های هیدروکسیل سطوح الیاف به‌صورت مکانیکی و تشکیل پیوندهای هیدروژنی و کووالانسی بین گروه‌های هیدروکسیل الیاف کاغذ با مونت موریلونیت نسبت داد. به دلیل ماهیت نانومواد و سطح ویژه بالاتر آنها نسبت به الیاف کاغذ، درجه روشنی کاغذهای پوشش‌دهی شده نسبت به کاغذ شاهد افزایش یافته است. افزودن مونت موریلونیت تغییرات معنی‌داری در درجه ماتی ایجاد نکرده است. مقدار پراکندگی نور 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؛ بنابراین تغییرات اندک و یا عدم تغییر این خواص می‌تواند فقط متأثر از افزایش پیوند بین الیاف باشد. همچنین تصاویر SEM نشان داد که مونت موریلونیت طی فرایند پوشش‌دهی توانسته است به میزان قابل‌توجهی منافذ موجود در سطح کاغذ را نسبت به کاغذ شاهد پر کند.

منابع

[1] Vaezi, K., Asadpour, G. and Sharifi, H., 2019. Effect of ZnO Nanoparticles on the Mechanical, Barrier and Optical Properties of Thermoplastic Cationic Starch/Montmorillonite Biodegradable Films. International Journal of Biological Macromolecules, 124: 519-529.

[2] Salehpour, S., Jonoobi, M., Oksman, K., Ahmadzade, M., Khanali, M., 2016. Study of Biodegradability and Mechanical Properties of Polyvinyl Alcohol (PVA) Reinforced with Cellulose Nanofiber (CNF). Iranian Journal of Wood and Paper Industries, 8 (4):497-508. (In Persian).

[3] Sodeifi, B., Nazarnezhad, N. and Sharifi, H., 2021. Investigation of Barrier Properties of the Coated and Treated Papers with Polycaprolactone/Cellulose Nanocrystals/ZnO Nanoparticles. Iranian Journal of Food science and Technology, 107(17):91-105. (In Persian).

[4] Gatto, M., Ochi, D., Yoshida, C.M.P. and da Silva, C.F., 2019. Study of Chitosan with Different Degrees of Acetylation as Cardboard Paper Coating. Carbohydrate Polymers, 210:56-63.

[5] Seraian, A. R., Heidari, S. and Shakeri, A., 2016. Investigating the Effect of Coating Paper Obtained from Bagasse Soda Pulp with Biodegradable Polymers. Iranian Quarterly Journal of Scientific Research of Wood and Paper Sciences, 31(2):204-210. (In Persian).

[6] Dashtbani, R., Resalati, H. and Afra, A., 2013. Investigating the Improvement of Antimicrobial and Resistance Properties of Packaging Paper Using Chitosan. Promotional Scientific Quarterly of Packaging Sciences and Arts, 4(13):77-68. (In Persian).

[7] Dufresne, A. and Belgacem, M.N., 2013. Cellulose Reinforced Composites, from Micro to Nanoscale, Overview, Polimeros, Ciencia y tecnologia, 23(3):277-286.

[8] Gacitua, W.E., Ballerini, A. and Zhang, J., 2005. Polymer Nanocomposites, Synthetic and Natural Fillers. A Review, Maderas, Ciencia y tecnologia, 7(3):159-178.

[9] Youssef, H.F., El-Naggar, M.E., Fouda, F.K. and Youssef, A.M., 2019. Antimicrobial Packaging Film Based on Biodegradable CMC/PVA-zeolite Doped with Noble Metal Cations. Food Packaging and Shelf Life, 22, 100378.

[10] Fakhri, L.A., Ghanbarzadeh, B., Dehghannia, J. and Entezami, A.A., 2012. The Effects of Montmorillonite and Cellulose Nanocrystals on Physical Properties of Carboxymethyl Cellulose/Polyvinyl Alcohol Blend Films. Science and Technology, 24(6):455-466.

[11] Gennadios, A. and Hanna, M.A., 1997. Application of Edible Coatings on Meats, Poultry and Seafoods. A review, LWT - Food Science and Technology, 30(4):337-350.

[12] Almasi, H., Ghanbarzadeh, B., Entezami, A., 2010. Physicochemical properties of starch–CMC–nanoclay biodegradable films. International Journal of Biological Macromolecules, 46(1):1-5.

[13] Kasmani, J, E., Samariha, A. 2021. Effects of Montmorillonite Nanoclay on the Properties of Chemimechanical Pulping Paper. Bioresources: 16(3), 6281-6291.

[14] Kiaei, M., Samariha, A., Farsi, M., 2016. Effect of Montmorillonite Clay on Mechanical and Morphological Properties of Paper Made with Cationic Starch and Neutral Sulfite Semichemical or Old Corrugated Container Pulps. Bioresource, 11(2): 4990-5002.

[15] Noshirvani, N., Ghanbarzadeh, B., Entezami, A., 2009. Comparison of tensile, permeability and color properties Bio-nanocomposites based on starch containing two types Filler: sodium montmorillonite and cellulose nanocrystal. Jounnal of Science and Polymer technology, 24(5):391-402.

[16] Vaezi, K., Asadpour, G. and Sharifi, S.H., 2020. Bio nanocomposites based on cationic starch reinforced with montmorillonite and cellulose nanocrystals: Fundamental properties and biodegradability study. International journal of biological macromolecules, 146(1):374-386.

[17] Sodeifi, B., Nazarnezhad, N. and Sharifi, H., 2019. Investigating the Resistance and Optical Properties of Papers Coated by the Polycaprolactone-nano crystal cellulose-nano zinc oxide Combination. Scientific-Research Quarterly Journal of Iranian Wood and Paper Sciences, 34(1):27-38. (In Persian).

[18 Zhang, M., Hao, N., Song, S., Wang, J., Wu, Y. and Li, L., 2014. Investigation of the Mixed Refining of a Novel Fly Ash-based Calcium Silicate Filler with Fiber. Bioresources, 9(3):5175-5183.

[19] Hubbe, M., 2006. Bonding Between Cellulosic Fibers in the Absence and Presence of Dry-strength Agent. A review, Bioresource, 1:281-318.

Investigating the resistance and optical properties of papers coated with carboxymethyl cellulose and montmorillonite combination

Abstract

Sustainable biological and inorganic nanomaterials, such as montmorillonite, have been the focus of researchers due to their biocompatibility and biodegradability properties for producing various products. This research investigated the effect of coating paper with carboxymethyl cellulose, montmorillonite, and their combination on resistance properties and optical properties. In order to achieve this, coating materials with specific conditions of carboxymethyl cellulose and montmorillonite (3%, 5%, and 7%) were applied to the papers. Additionally, the papers were studied using a scanning electron microscope. The results of the tests showed that the resistance characteristics (tensile, burst, and tear resistance indices) of the coated papers increased with higher percentages of montmorillonite. The combination of carboxymethyl cellulose and 7% montmorillonite exhibited the best resistance characteristics compared to the uncoated paper. The brightness characteristics increased with the addition of montmorillonite, but the opacity did not change significantly. Furthermore, the colorimetry improved with the addition of montmorillonite up to 5%, but decreased with the 7% sample. In addition, the microscopic examination showed that montmorillonite significantly filled the pores on the surface of the paper compared to the control paper.

Keywords: Carboxymethyl cellulose, Montmorillonite, Packaging, Coating, Biodegradability.

M. Norouzzadeh[1]
S. H Sharifi[2*]
N. Nazarnezhad[3]

[1] Ph.D. Student, Wood and Paper Science Department, Faculty of Natural Resources, Sari Agricultural Sciences and Natural Resource University

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

[3] Assoc. Prof., Wood and Paper Science Department, Faculty of Natural Resources, Sari Agricultural Sciences and Natural Resource University

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

Received: 2023/09/05
Accepted: 2023/08/24