

## بررسی ویژگی‌های مقاومتی و نوری کاغذهای پوشش‌دهی شده با بایو نانوکامپوزیت کربوکسی‌متیل کیتوسان/ صمغ گوار/ نانوکریستال سلولز

### چکیده

در این پژوهش تأثیر تیمارهای مختلف با کربوکسی‌متیل کیتوسان (CMCh)، صمغ گوار خالص شده (PGG) و نانوکریستال سلولز (NCC) روی خواص مقاومتی و نوری کاغذهای پوشش‌دهی شده مورد بررسی قرار گرفت. نمونه‌ها به‌وسیله دستگاه‌های پراش پرتو ایکس (XRD) و طیف‌سنجی فروسرخ با تبدیل فوریه (FTIR) مورد مطالعه قرار گرفتند. برای این کار نانوکریستال سلولز (۳، ۶ و ۹ درصد) به سوسپانسیون پوشش‌دهی افزوده شد. نتایج حاصل از آزمایش‌ها نشان داد که ویژگی‌های مقاومتی (شاخص مقاومت به کشش، ترک‌شدن و پارگی) کاغذهای پوشش‌دهی شده افزایش یافته است؛ البته تأثیر افزایش مقدار نانوکریستال سلولز تا ۶ درصد بر افزایش مقاومت‌ها بارزتر بوده است. همچنین درجه روشنی کاغذهای پوشش‌دهی شده افزایش یافته است و بهترین درجه روشنی تیمارها مربوط به نمونه‌های دارای نانوکریستال سلولز تا سطح ۶ درصد بوده است. درجه ماتی کاغذهای پوشش‌دهی نسبت به نمونه شاهد افزایش یافته است و کمترین درجه ماتی در بین تیمارها، مربوط به نمونه‌های دارای ۶ درصد نانوکریستال سلولز بوده است.

**واژگان کلیدی:** کربوکسی‌متیل کیتوسان، صمغ گوار، نانوکریستال سلولز، کاغذهای بسته‌بندی.

### بردیا صدیقی<sup>۱</sup>

سید حسن شریفی<sup>۲\*</sup>

سید مجید ذبیح زاده<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup> دانشجو مقطع دکتری رشته صنایع چوب و فرآورده‌های سلولزی، گروه مهندسی چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران

<sup>۲</sup> نویسنده مسئول، استادیار، گروه مهندسی چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران

<sup>۳</sup> 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](mailto:h.sharifi@sanru.ac.ir)

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۱/۱۶

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۱/۰۶

### مقدمه

هیدروژنی زیاد مورد توجه قرار گرفته‌اند که صنعت بسته‌بندی یکی از مهم‌ترین مصرف‌کنندگان کاغذ است [۲]. به طور کلی، کاغذهای بسته‌بندی به مقاومت‌های مکانیکی و ویژگی‌های ممانعتی بالایی نیاز دارند [۳]. نانوکامپوزیت‌ها در رأس ابداعات فناوری نانو مرتبط با صنعت بسته‌بندی قرار دارند. استفاده از پرکننده‌های نانومتری سبب به وجود آمدن نانوکامپوزیت‌های

امروزه به دلیل افزایش نگرانی‌های زیست محیطی، تلاش‌های گسترده‌ای در جهت کاهش مضرات مواد بسته‌بندی، در کنار افزایش کیفیت و عمر انبارداری مواد غذایی صورت گرفته است و سبب تولید بسته‌های بر پایه پلیمرهای زیست تخریب‌پذیر شده است [۱]. عمده مواد پلیمری طبیعی که در ساخت فیلم‌ها و پوشش‌ها به کار می‌روند شامل پلی‌ساکاریدها، لیپیدها، پروتئین‌ها و یا ترکیبی از آن‌ها هستند که به علت ایجاد درصد پیوند

که در اثر زخمی شدن گیاه مانند نیش حشرات یا شکستگی در اثر عوامل مختلف مثل شرایط نامساعد و تولید می‌شوند [۱۰]. صمغ‌های مواد غذایی برای تهیه ژل و به عنوان پایدارکننده و عوامل سوسپانسیون مورد استفاده قرار می‌گیرند. از انواع صمغ‌ها می‌توان به صمغ گوار اشاره کرد که پودر سفید یا قهوه‌ای‌رنگ است که از دانه گوار به دست می‌آید. صمغ گوار (G<sub>۴</sub>) نوعی پلیمر طبیعی سازگار با محیط زیست است که می‌تواند از آندوسپرم دانه‌های گوار تولید شده در هند و پاکستان استخراج شود. صمغ گوار همان‌طور که در شکل ۲ نشان داده شده است؛ دارای زنجیره‌های پلیمری طولانی، وزن مولکولی بالا در مقایسه با سایر پلیمرهای زیستی است. این شامل زنجیره اصلی مانوز است که توسط ۱-۴-β-D-مانوپیرانوز با گالاکتوز به عنوان یک گروه جانبی مرتبط با گروه جانبی ۱-۶-α-D-گالاکتوپیرانوز، با نسبت حدودی مانوز به گالاکتوز ۱:۱,۸-۱,۶ تشکیل شده است. صمغ گوار به دلیل حلالیت در آب و توانایی تشکیل محلول آبی با ویسکوزیته بالا در غلظت کم می‌تواند به طور گسترده در داروسازی، بسته‌بندی مواد غذایی، لوازم آرایشی و سایر زمینه‌ها به عنوان تثبیت‌کننده و چسب استفاده شود [۱۱]. همچنین هیدروکربن‌ها، چربی‌ها، الکل‌ها، استرها و کتون‌ها صمغ گوار را حل نمی‌کنند، اما در حلال‌های آلی مثلاً فرمالید حل شده و آب مهم‌ترین حلال برای آن می‌باشد [۱۲].

زیست‌تخریب‌پذیر با مشخصه‌ها و ویژگی‌هایی مشابه با پلاستیک‌های معمولی می‌گردد [۴].

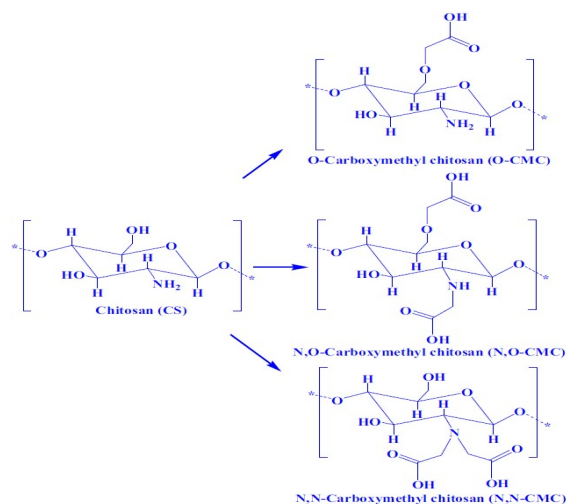
کیتوسان (CS) که عمدتاً از استیل‌زدایی کیتین که از پوسته سخت پوستان مشتق می‌شوند، به دست می‌آید، یکی از مهم‌ترین پلیمرهای طبیعی مورد استفاده در بسته‌بندی‌های زیستی است که خواص با ارزشی به عنوان ماده زیستی دارد چرا که کیتوسان زیست‌سازگار، زیست‌تجزیه‌پذیر و غیرسمی است [۵]. با توجه به حلالیت ضعیف کیتوسان، کربوکسی‌متیل کیتوسان (CMCK) که مشتق شده از کیتوسان است، محلول در آب بوده و توجه زیادی را به خود جلب کرده است. کربوکسی‌متیل کیتوسان نه تنها دارای حلالیت خوب در آب است؛ بلکه دارای خواص شیمیایی، فیزیکی و بیولوژیکی منحصر به فرد مانند ویسکوزیته بالا، حجم هیدرودینامیکی بالا (افزایش انعطاف‌پذیری زنجیره)، مسمومیت کم، سازگاری زیستی و زیست‌تخریب‌پذیری و توانایی خوب برای تشکیل فیلم‌ها، الیاف‌ها و هیدروژل‌ها است [۶ و ۷]. واکنش کربوکسی‌متیل‌دار کردن به ویژه در گروه‌های هیدروکسیل C-6 یا در قسمت NH<sub>2</sub> رخ می‌دهد که ترکیبات N,O-کربوکسی‌متیل کیتوسان را تولید می‌کند که محلول در آب هستند و شامل یک گروه آمینه یا به عنوان اولیه (-NH<sub>2</sub>) یا به عنوان آمین ثانویه (-NH-CH<sub>2</sub>COOH) هستند [۸]. ساختارهای شیمیایی ترکیبات کیتوسان و کربوکسی‌متیل کیتوسان در شکل ۱ نشان داده شده است.

یکی دیگر از مواد مورد استفاده در این پژوهش، صمغ‌ها هستند که فرآورده‌های پاتولوژیک گیاه بوده

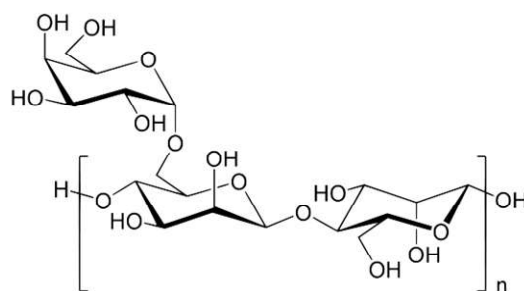
<sup>1</sup> Chitosan

<sup>2</sup> Carboxy Methyl Chitosan

<sup>3</sup> Guar Gum



شکل ۱- ساختارهای شیمیایی مشتقات کیتوسان (CS) و کربوکسی متیل کیتوسان (CMCh) [۹]



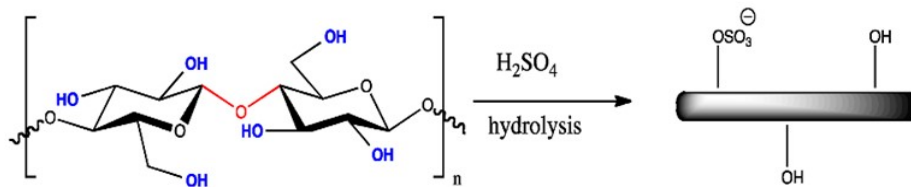
شکل ۲- ساختار صمغ گوار [۱۳]

تقویت کننده عالی برای محصولات پلیمری مورد توجه قرار گرفته است [۱۶]. NCC در سطح خود دارای گروه‌های هیدروکسیل زیادی می‌باشد که این گروه‌ها در ابعاد نانو و با افزایش سطح ویژه در واحد حجم افزایش می‌یابند. بنابراین افزودن NCC به کاغذ باعث افزایش پیوندهای هیدروژنی میان الیاف کاغذ و NCC می‌شود و متعاقب آن می‌تواند منجر به افزایش ویژگی‌های مقاومتی کاغذ تولیدی شود [۱۷].

هدف اصلی مطالعه حاضر تهیه کاغذهای پوشش‌دهی شده و سازگار با محیط‌زیست با استفاده از کربوکسی‌متیل کیتوسان، صمغ گوار و نانوکریستال سلولز برای آزمایش اثر ترکیبی آن‌ها بر خواص مقاومتی (شاخص‌های مقاومت به کشش، ترکیب‌پذیری و پارگی) و خواص نوری (درجه روشنایی و درجه مات) جهت استفاده در بسته‌بندی صنایع غذایی می‌باشد.

گروهی از نانومواد معروف به نانومواد زیستی، منشأ زیستی دارند؛ بنابراین می‌توان گفت این دسته از مواد زیست‌سازگار، زیست‌تخریب‌پذیر و تجدیدپذیرند [۱۴]. از جمله مهم‌ترین نانومواد زیستی نانوکریستال سلولز (NCC) می‌باشند که در شکل ۳ مشاهده می‌شود و به دلیل ویژگی‌های ذاتی جالب، از جمله سطح ویژه زیاد، نسبت طول به قطر زیاد، فراوانی منابع، دانسیته کم، مقاومت مکانیکی بالا، قابلیت تجدیدپذیری و زیست‌تخریب‌پذیری مورد توجه زیادی قرار گرفته‌اند [۱۵]. این ماده نوعی پلیمر طبیعی با خواص زیستی است که قوی‌تر از استیل بوده و سبک و بادوام است و می‌تواند به عنوان عامل تقویت کننده برای بهبود خواص پلیمرها استفاده شود. به دلیل ویژگی‌های مکانیکی مطلوب و توانایی تشکیل شبکه و فیلم خوب، این ماده به عنوان

<sup>4</sup> Nano Crystalline Cellulose



شکل ۳- ساختار میله ای نانوکریستال سلولزی توسط هیدرولیز اسیدی [۱۸]

استفاده جهت پوشش‌دهی، کاغذ لاینر با گراماژ ۸۰±۵ g/m<sup>2</sup> و رنگبری نشده از کارخانه چوب و کاغذ مازندران است.

## مواد و روش‌ها

کیتوسان (با وزن مولکولی متوسط، فرمول شیمیایی C<sub>6</sub>H<sub>11</sub>NO<sub>4</sub> و دانسیته ۱ g/cm<sup>3</sup>) و صمغ گوار (با فرمول شیمیایی C<sub>35</sub>H<sub>49</sub>O<sub>29</sub>، با دانسیته ۰/۸-۱ در دمای ۰°C (۲۵) از شرکت زیگما آلدریج خریداری شدند. آلفا سلولز حاصل از لینتر پنبه با خلوص ۹۵٪ و درجه پلیمر شدن ۱۹۰۰ از شرکت لینتر پاک بهشهر مازندران خریداری شده و نانوکریستال سلولز از آلفا سلولز با روش هیدرولیز اسیدی در آزمایشگاه ساخته شد. استیک اسید به عنوان حلال (با فرمول شیمیایی CH<sub>3</sub>COOH، دانسیته ۱/۰۵۱ g/cm<sup>3</sup> در دمای ۲۰°C، نقطه جوش ۱۱۸/۸-۱۱۸/۳°C و درجه خلوص ۹۹٪) از شرکت کارلو آلبا فرانسه مورد استفاده قرار گرفت. سولفوریک اسید (با فرمول شیمیایی H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>، pH=۰/۳ و دانسیته ۱/۸۴ g/cm<sup>3</sup>)، کلروفرم (با فرمول شیمیایی CHCl<sub>3</sub>، دانسیته ۱/۴۸ g/cm<sup>3</sup> در دمای ۲۰°C و نقطه انجماد ۶۳-°C)، ایزوپروپیل الکل (با فرمول شیمیایی C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>O، وزن مولکولی ۶۰/۱ g/mol، دانسیته ۰/۷۸۶ g/cm<sup>3</sup> در دمای ۲۰°C)، اتانول (با فرمول شیمیایی C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH، وزن مولکولی ۴۶/۰۷ g/mol، دانسیته ۰/۷۹۳ g/cm<sup>3</sup> در دمای ۲۰°C) و گلیسرول (با فرمول شیمیایی C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>O<sub>3</sub>، وزن مولکولی ۹۲/۱ g/mol، دانسیته ۱/۲۶ g/cm<sup>3</sup> در دمای ۲۰°C) از شرکت مرک تهیه شدند. سدیم هیدروکسید (با فرمول شیمیایی NaOH، وزن مولکولی ۴۰ g/mol، دانسیته ۲/۱۳ g/cm<sup>3</sup>) از شرکت دکتر مجلی خریداری شد. همچنین مونوکلرو استیک اسید (با فرمول شیمیایی C<sub>2</sub>H<sub>3</sub>ClO<sub>2</sub>، وزن مولکولی ۹۴/۵ g/mol، دانسیته ۱/۵۸ g/cm<sup>3</sup>)، صافی واتمن شماره یک (با سایز تخلخل ۱۱ میکرون، ضخامت اسمی ۱۸۰ میکرون و وزن پایه اسمی ۸۷ گرم بر متر مربع) و آب مقطر مورد استفاده قرار گرفتند. کاغذ مورد

## روش‌ها

### (۱) تولید کربوکسی‌متیل کیتوسان

کیتوسان در سدیم هیدروکسید روی همزن مغناطیسی، در مخلوط ۵۰:۵۰ آب مقطر و ایزوپروپیل الکل قلیایی شد. پس از حرارت دادن مخلوط تا دمای ۶۰°C، مونوکلرو استیک اسید در ایزوپروپیل الکل حل شده و به آرامی به محلول اضافه شد. پس از ۶ ساعت هم‌زدن پیوسته، واکنش با افزودن اتانول به محلول به اتمام رسید. در ادامه، کیتوسان اصلاح شده با کاغذ صافی فیلتر شده و با اتانول/آب با نسبت (۳۰:۷۰) شسته شده و در آن با دمای ۵۰°C خشک گردید. سپس کیتوسان خشک شده در آب حل و سانتریفیوژ شده تا کیتوسان واکنش نداده جدا شود. بخش رسوب کرده در ویال را برداشته و در اتانول رسوب داده و در خلاء خشک کردیم. در انتها، نمونه را در آن با دمای ۵۰°C قرار گرفت و خشک شد. محصول نهایی (با فرمول شیمیایی C<sub>8</sub>O<sub>6</sub>NH<sub>12</sub>Na، درجه استخلاف ۶۵٪ - ۷۵٪، ویسکوزیته ۵۰-۷۰ cps و pH=۶-۷) محلول در آب است [۱۹ و ۲۰].

### (۲) خالص سازی صمغ گوار

صمغ گوار در آب مقطر (محلول آبی ۱ درصد وزنی/حجمی صمغ گوار) با استفاده از همزن برشی تهیه شد. محلول به دست آمده به مدت ۱۲ ساعت در دمای اتاق (۲۵±۲) درجه سانتی‌گراد روی همزن مغناطیسی برای هیدراته شدن مناسب صمغ گوار هم‌زده شد. در ادامه محلول حاصل برای حذف ناخالصی‌های نامحلول

و خروج کامل حباب‌های هوا به مدت ۳۰ دقیقه به حالت ساکن قرار داده شد.

سوسپانسیون نانوکریستال سلولز (۳، ۶ و ۹ درصد نسبت به کربوکسی‌متیل کیتوسان - صمغ گوار) از حل نمودن در آب مقطر توسط دستگاه فراصوت در مدت ۳ دقیقه تهیه شد (برای تهیه NCC از روش گزارش شده توسط Sodeifi و همکارانش (۲۰۱۹) استفاده شد [۲۳].

برای تهیه سوسپانسیون ترکیبی حاوی نانو پرکننده، سوسپانسیون نانوکریستال سلولز (۳، ۶ و ۹ درصد) را به آرامی به محلول کامپوزیتی کربوکسی‌متیل کیتوسان و صمغ گوار با نسبت‌های ترکیبی (۳۰:۷۰، ۵۰:۵۰ و ۷۰:۳۰) مخلوط کرده و سوسپانسیون را روی همزن به مدت ۲ ساعت حرارت دادیم و به طور کامل حل گردید. سپس به منظور خنک‌شدن و خروج کامل حباب‌های هوا به مدت ۳۰ دقیقه به حالت ساکن قرار داده شد. در انتها برای به دست آوردن سوسپانسیونی شفاف، آن را سانتریفیوژ کرده و به مدت ۲ دقیقه برای خروج کامل حباب‌های هوا به حالت ساکن قرار دادیم. جدول ۱ فرمول‌بندی تمامی تیمارهای مورد استفاده در این پژوهش را نشان می‌دهد.

سانتریفیوژ شد. سپس اتانول به نسبت ۲:۱ به مایع رویی اضافه شد و یک شب رها شد تا صمغ گوار خالص شده رسوب کند. در انتها رسوب با کاغذ صافی فیلتر شده و با خشک کن انجمادی خشک گردید و پودر صمغ گوار خالص شده (PGG) خشک به دست آمد [۲۱ و ۲۲].

### ۳) آماده‌سازی بیونانو کامپوزیت کربوکسی‌متیل

#### کیتوسان / صمغ گوار / نانوکریستال سلولز

به منظور آماده‌سازی، پودر کربوکسی‌متیل کیتوسان به همراه گلیسرول (۴۰ درصد وزنی کربوکسی‌متیل کیتوسان) به عنوان نرم کننده در آب مقطر حل شد. سپس محلول تشکیل دهنده کامپوزیت، روی همزن مغناطیسی به مدت ۲ ساعت حرارت داده شد و کربوکسی‌متیل کیتوسان به طور کامل حل گردید. سپس به مدت ۳۰ دقیقه جهت خنک‌شدن و خروج کامل حباب‌های هوا به حالت ساکن قرار داده شد.

صمغ گوار را به همراه گلیسرول (۴۰ درصد وزنی صمغ گوار) به عنوان نرم کننده در آب مقطر حل نمودیم. سپس محلول تشکیل دهنده کامپوزیت، روی همزن مغناطیسی به مدت ۹۰ دقیقه حرارت داده شد و صمغ گوار به طور کامل حل گردید. سپس به منظور خنک‌شدن

جدول ۱- فرمول بندی تمامی تیمارهای مورد استفاده در این پژوهش

تیمارها	کد تیمار	نانوکریستال سلولز*	صمغ گوار خالص شده	کربوکسی‌متیل کیتوسان
شاهد	۱	-	-	-
CMCh/ PGG/ NCC	۲	۳	۵۰	۵۰
CMCh/ PGG/ NCC	۳	۶	۵۰	۵۰
CMCh/ PGG/ NCC	۴	۹	۵۰	۵۰
CMCh/ PGG/ NCC	۵	۳	۷۰	۳۰
CMCh/ PGG/ NCC	۶	۶	۷۰	۳۰
CMCh/ PGG/ NCC	۷	۹	۷۰	۳۰
CMCh/ PGG/ NCC	۸	۳	۳۰	۷۰
CMCh/ PGG/ NCC	۹	۶	۳۰	۷۰
CMCh/ PGG/ NCC	۱۰	۹	۳۰	۷۰

\*درصد NCC نسبت به CMCh/ PGG می‌باشد

Coater (GBC-A4 GIST CO. Ltd) و با غلتک فلزی (RSD 14)، به طور یکنواخت با سرعت ۱۰ سانتی‌متر بر ثانیه روی کاغذهای با وزن پایه  $80 \pm 5 \text{ g/m}^2$  پخش شد. به منظور جلوگیری از ایجاد چروک، کاغذها روی قاب‌های

### ۴) استفاده از سوسپانسیون بیونانو کامپوزیتی

#### حاصل به عنوان پوشش روی کاغذها

جهت انجام این کار، مقدار ۱۵ cc از محلول پوشش-دهی توسط دستگاه پوشش‌دهی آزمایشگاهی Auto Bar

به پارگی با دستگاه Sanatazma و استاندارد TAPPI T414 om-04 انجام گرفت.

لاستیکی قرار گرفته و توسط گیره مهار شدند. نمونه‌ها به مدت ۲۴ ساعت در دمای محیط آزمایشگاهی قرار گرفته تا خشک گردند.

### تست‌های نوری

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

### روش آماری

تجزیه و تحلیل 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 ۰.۵٪) صورت گرفت.

### نتایج و بحث

جدول ۲ نتایج حاصل از آزمون تجزیه واریانس مقادیر شاخص‌های مقاومت به کشش، ترکیدن، پارگی، درجه روشنی و درجه ماتی کاغذهای پوشش‌دهی شده و نمونه شاهد را نشان می‌دهد. همچنین در سطح خطای ۰.۵٪، بین سطوح مختلف تیمارها، اختلاف معنی‌دار آماری وجود دارد.

### آزمون‌های مورفولوژی کربوکسی‌متیل کیتوسان و کاغذهای پوشش‌دهی شده

بررسی کربوکسی‌متیل کیتوسان با آزمون XRD (ساخت شرکت Philips مدل PW 1730) و همچنین برای تعیین وضعیت پیوندها و گروه‌های واکنشگر کاغذهای پوشش‌دهی شده از آزمون FTIR (ساخت شرکت Agilent مدل Cary 630) استفاده گردید.

### تعیین شاخص‌های مقاومت به کشش، ترکیدن و پارگی

برای تعیین ویژگی‌های کاغذ، نمونه‌ها در شرایط کلیما (رطوبت نسبی  $50 \pm 2$  °C و دمای  $23 \pm 1$  °C) به مدت ۲۴ ساعت مطابق با استاندارد TAPPI T 402 sp-98 قرار گرفتند. اندازه‌گیری شاخص مقاومت به کشش نمونه‌های کاغذ پوشش‌دهی شده و شاهد با دستگاه SANTAM مدل STM-20 و 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

جدول ۲- نتایج حاصل از اندازه‌گیری ویژگی‌های مقاومتی و نوری کاغذهای پوشش‌دهی شده و نمونه شاهد

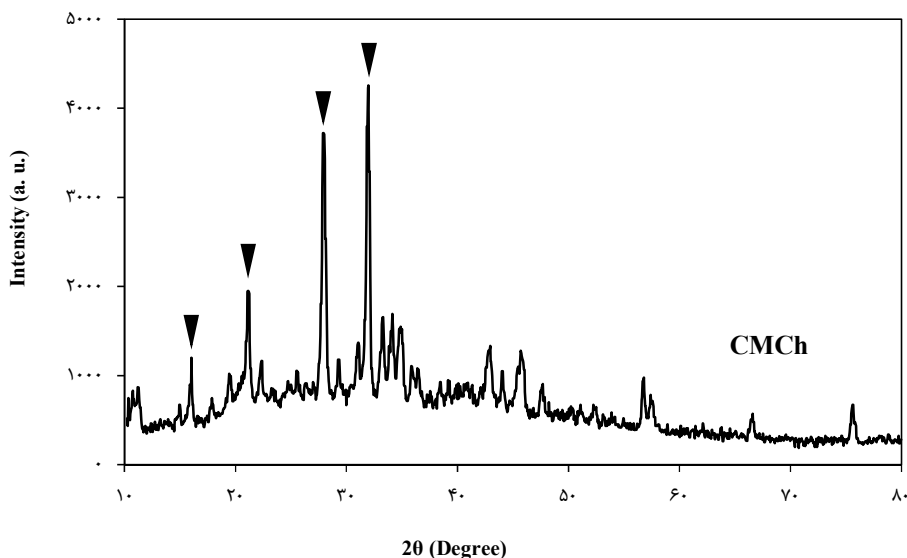
کد تیمار	شاخص مقاومت به کشش* (N.m/g)	شاخص مقاومت به ترکیدن* (Kpa.m <sup>2</sup> /g)	شاخص مقاومت به پارگی* (mN.m <sup>2</sup> /g)	درجه روشنی* (%)	درجه ماتی** (%)
۱	۷۰/۷۵	۳/۳۷	۴/۳۱	۲۰/۰۷	۹۶/۷۴
۲	۷۴/۴	۴/۴۱	۶/۱۳	۲۰/۵۲	۹۷/۳۵
۳	۷۶/۴۷	۴/۷۱	۶/۶۷	۲۱/۲۶	۹۶/۹۹
۴	۷۳/۰۱	۴/۲۷	۶/۱۱	۲۰/۹۷	۹۷/۱۶
۵	۷۱/۵۹	۳/۷۶	۵/۷۶	۲۰/۰۱	۹۷/۴۶
۶	۷۱/۹۴	۴/۱	۵/۹	۲۰/۴۲	۹۷/۲۴
۷	۷۱/۱۶	۳/۹۶	۵/۷۷	۲۰/۳۳	۹۷/۳۲
۸	۷۲/۷۶	۳/۸۱	۶/۰۱	۲۰/۱۶	۹۸/۱۶
۹	۷۳/۵۳	۴/۲۲	۶/۳۳	۲۱/۳۸	۹۷/۴۱
۱۰	۷۲/۰۵	۳/۵۸	۵/۸۱	۲۰/۶۱	۹۷/۹۷

\* معنی‌دار شدن در سطح ۰.۵٪

\*\* معنی‌دار نشدن در سطح ۰.۵٪

می‌شود CMCh در زاویه‌های ۲۵ برابر ۱۶/۰۴، ۲۱/۲۴، ۲۷/۹۹ و ۳۱/۹۴ درجه چهار پیک واضح را از خود نشان می‌دهد که با مشاهدات Patrale و Patrale و همچنین Farag و Mohamed مطابقت دارد [۲۴ و ۲۵].

بررسی مورفولوژی کربوکسی‌متیل کیتوسان با پراش پرتو ایکس (XRD) و کاغذهای پوشش‌دهی شده با طیف‌سنجی فرسرخ با تبدیل فوریه (FTIR) شکل ۴ طیف پراش پرتو ایکس کربوکسی‌متیل کیتوسان را نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل مشاهده



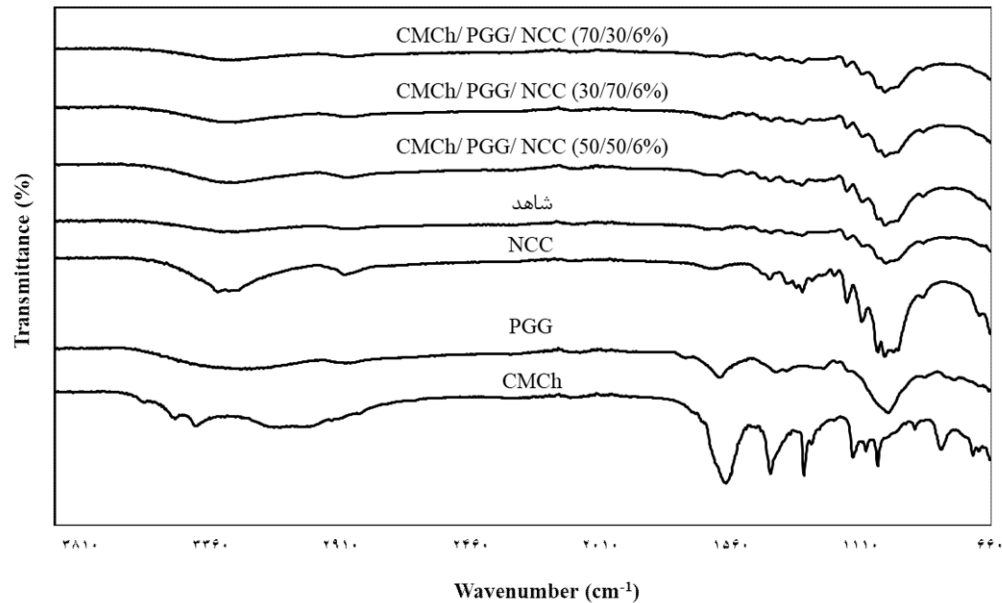
شکل ۴- نمودار پراش پرتو ایکس کربوکسی‌متیل کیتوسان

پیوندهای C-H می‌باشد و کریستالی بودن سلولز را مشخص می‌کند [۱۸]. در همین حال، شدت قله در  $\text{cm}^{-1}$  ۱۰۲۶ نیز به عنوان یک نتیجه از NCC اضافه شده، افزایش یافته است. این مشاهدات نشان می‌دهد که افزودن NCC منجر به افزایش پیوند هیدروژنی در کاغذهای پوشش‌دهی شده مبتنی بر CMCh/ PGG می‌شود که ممکن است مسئول استحکام مکانیکی بهبود یافته کاغذهای پوشش‌دهی شده با CMCh/ PGG/ NCC باشد. این پیک‌های جذب همپوشانی، نشان دهنده ارتعاشات H-O و کشش N-H است. نوار جذب ظاهری در  $\text{cm}^{-1}$  ۱۵۷۷ مربوط به گروه‌های COOH و آمید II در CMCh می‌باشد [۲۵ و ۲۶]. همچنین تشکیل CMCh نیز با تشدید پیک‌ها در  $\text{cm}^{-1}$  ۱۰۵۳ و  $\text{cm}^{-1}$  ۱۳۰۸ مربوط به کشش C-O-C تایید می‌شود. به علاوه، پیک در  $\text{cm}^{-1}$  ۳۴۱۱ گسترده‌تر و ضعیف‌تر شده است، که نشان دهنده آن است که کربوکسیله شدن در برخی از نقاط آمینه و اولیه هیدروکسیل واحدهای گلوکز آمین ساختار کیتوسان رخ داده است [۲۴]. همچنین CMCh یک پیک در  $\text{cm}^{-1}$

مطابق شکل ۵، دو پیک در نقاط  $\text{cm}^{-1}$  ۱۰۲۶ و  $\text{cm}^{-1}$  ۲۹۰۰ را نشان می‌دهد که می‌توان آن‌ها را به کشش‌های لرزشی گروه‌های C-O در موقعیت C-۳ [۲۶] و C-H مرتبط دانست. پیک  $\text{cm}^{-1}$  ۲۹۰۰ به علت کشش و لرزش گروه‌های اشباع شده آلیفاتیک C-H در NCC می‌باشد. طیف عریض  $\text{cm}^{-1}$  ۳۱۵۰ تا  $\text{cm}^{-1}$  ۳۵۰۰ نشان دهنده قابلیت آبدوستی سلولز به دلیل وجود گروه‌های هیدروکسیل آن و جذب همپوشانی ارتعاشات O-H و کشش N-H می‌باشد. پیک موجود در نقطه  $\text{cm}^{-1}$  ۳۳۶۰ مربوط به کشیدگی گروه‌های هیدروکسیل و پیوند هیدروژنی درون مولکولی NCC و لرزش آن‌ها و همچنین پیوند هیدروژنی بین CMCh و NCC نسبت داده شده است [۲۶ و ۱۸]. پیک‌های موجود در نقاط  $\text{cm}^{-1}$  ۱۳۱۴ و  $\text{cm}^{-1}$  ۱۱۶۰ به ترتیب به دلیل لرزش ارتعاش گروه‌های  $\text{CH}_2$  و کشیدگی نامتقارن C-O-C در سلولز می‌باشند. پیک‌های موجود در  $\text{cm}^{-1}$  ۱۳۶۰ و  $\text{cm}^{-1}$  ۱۴۵۰ می‌تواند مربوط به کشش و خمش گروه‌های  $\text{CH}_2$  و  $\text{CH}_3$  در کاغذ می‌باشد. همچنین پیک در  $\text{cm}^{-1}$  ۱۴۵۰ به دلیل دگرگونی

یک اوج بسیار قوی ایجاد کند. نتایج نشان داد که فرآیند کربوکسیله شدن در موقعیت C-۶ کیتوسان رخ داده است [۲۵].

۱۴۲۲ را نشان می‌دهد که می‌تواند به ارتعاش کششی متقارن گروه  $\text{COO}^-$  اختصاص داده شود. ارتعاش کششی نامتقارن گروه  $\text{COO}^-$  نزدیک به  $1550 \text{ cm}^{-1}$  با ارتعاش  $\text{NH}_2$  تغییر شکل یافته در  $1600 \text{ cm}^{-1}$  همپوشانی دارد تا



شکل ۵- نمودار طیف‌سنجی فروسرخ با تبدیل فوریه CMCh، PGG، NCC، کاغذهای پوشش‌دهی شده و شاهد

نتایج حاصل از آزمون تجزیه واریانس شاخص‌های مقاومت به کشش و ترکیدن تیمارها نشان می‌دهد که بین این مقادیر در سطح خطای ۵٪، در سطوح مختلف تیمارها اختلاف معنی‌دار آماری وجود دارد. در هم رفتگی و حتی پیوند شیمیایی بین NCC و PGG/CMCh و همچنین پیوند شیمیایی و در هم رفتگی مکانیکی آن‌ها با الیاف کاغذ منجر به بهبود و افزایش مقاومت‌های مکانیکی کاغذها شده است. با افزایش NCC تا سطح ۶ درصد این شاخص‌ها افزایش چشمگیری داشت. این افزایش می‌تواند به دلیل استحکام کششی ذاتی زیاد NCC بخاطر ساختار بلورین باشد که به عنوان یک تقویت‌کننده مناسب عمل کرده و توانسته پیوند خوبی را با پلیمرها به وجود آورد [۲۶]. از دلایل دیگر می‌توان به پیوندهای هیدروژنی قوی بین گروه‌های هیدروکسیل و سولفات آنیونی NCC با گروه‌های آمین کاتیونی CMCh و همچنین پیوند هیدروژنی بین گروه‌های هیدروکسیل NCC و گروه‌های هیدروکسیل پلیمرها اشاره نمود [۲۶]. اما با افزایش NCC

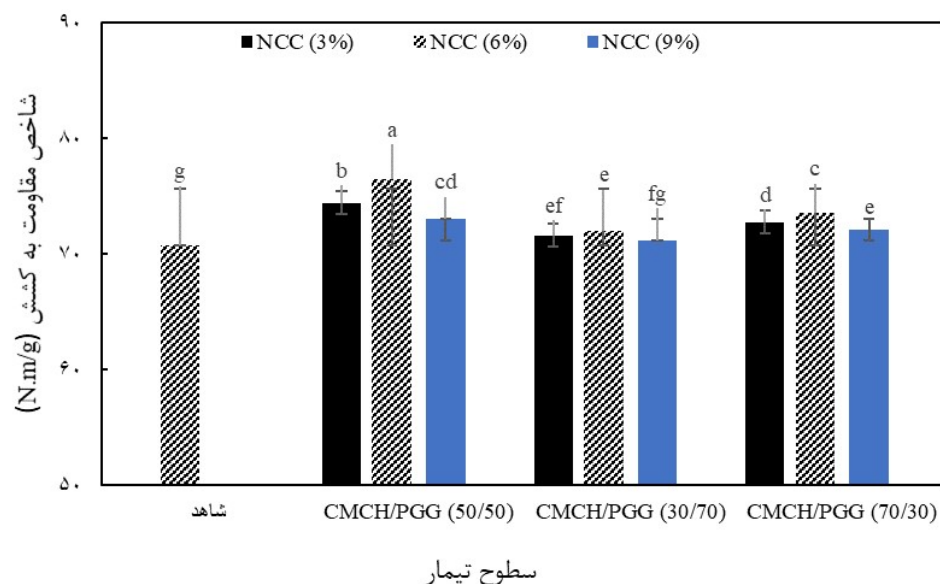
### اثر تیمارهای مختلف بر شاخص‌های مقاومت به

#### کشش و ترکیدن

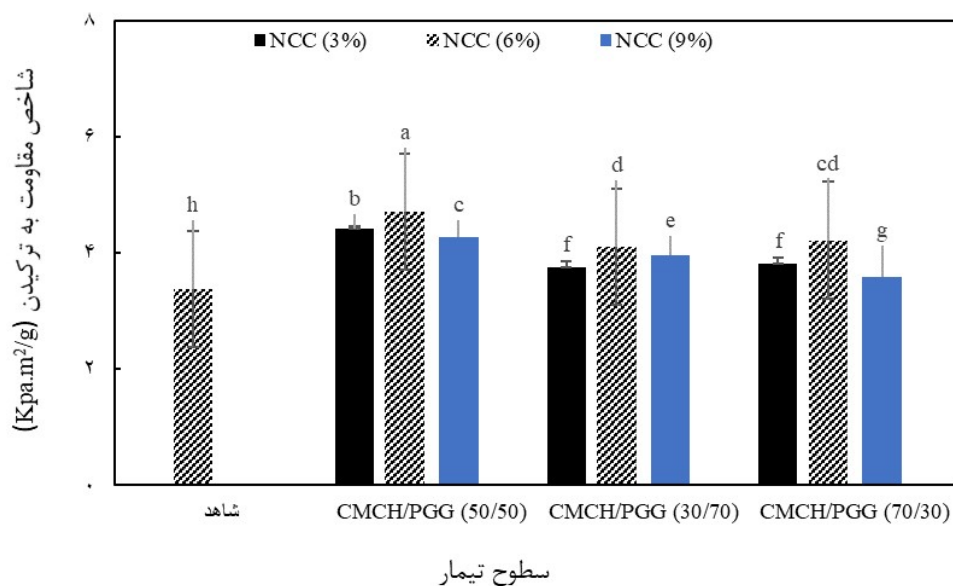
مقاومت به کشش و ترکیدن یکی از شاخص‌های متداول در ارزیابی مقاومت‌های کاغذ می‌باشند. شکل‌های ۶ و ۷ به ترتیب مقادیر مختلف شاخص‌های مقاومت به کشش و ترکیدن کاغذهای پوشش‌دهی شده و شاهد را نشان می‌دهند. شاخص‌های مقاومت در برابر کشش و ترکیدن به طول الیاف، مقاومت الیاف و پیوند بین آن‌ها بستگی دارد. مهم‌ترین فاکتور مؤثر بر شاخص مقاومت در برابر کشش شامل نوع و میزان اتصال الیاف با یکدیگر است و کاهش اتصالات الیاف با یکدیگر این مقاومت را کاهش می‌دهد. همچنین در شاخص مقاومت در برابر ترکیدن اگر چه با افزایش طول فیبر این مقاومت افزایش می‌یابد؛ اما این مقاومت بیشتر به اتصال الیاف و میزان پیوند بین الیاف بستگی دارد [۲۷].

شاخص‌ها می‌توان به نفوذ سوسپانسیون پوشش‌دهی به ساختار کاغذ پایه و تورم الیاف سلولز و همچنین اختلال در اتصال بین الیاف باشد [۲۹]. بالاترین مقدار شاخص مقاومت در برابر کشش و ترکیدن مربوط به تیمار  $CMCh/PGG/ NCC (50/50/6\%)$  به ترتیب به میزان  $۷۶/۴۷$  و  $۴/۷۱$  و کمترین مقدار مربوط به نمونه شاهد به ترتیب به میزان  $۷۰/۷۵$  و  $۳/۳۷$  نیوتون متر بر گرم و کیلوپاسکال در متر مربع بر گرم می‌باشد.

تا سطح ۹ درصد، این شاخص‌ها کاهش یافت. در حقیقت، نانوکریستال سلولز تمایل به جذب یکدیگر، به واسطه گروه‌های هیدروکسیل سطحی و تشکیل پیوند هیدروژنی با یکدیگر را دارند. بنابراین با افزایش درصد NCC احتمال تشکیل این پیوندهای هیدروژنی بیشتر شده و نتیجه آن کلوخه شدن یا تجمع ذرات نانوکریستال در یک ناحیه شده و تجمع ذرات NCC منجر به تمرکز تنش و کاهش این شاخص‌ها می‌شود [۲۸]. از دلایل دیگر کاهش این



شکل ۶- مقادیر شاخص مقاومت به کشش کاغذهای پوشش‌دهی شده و شاهد

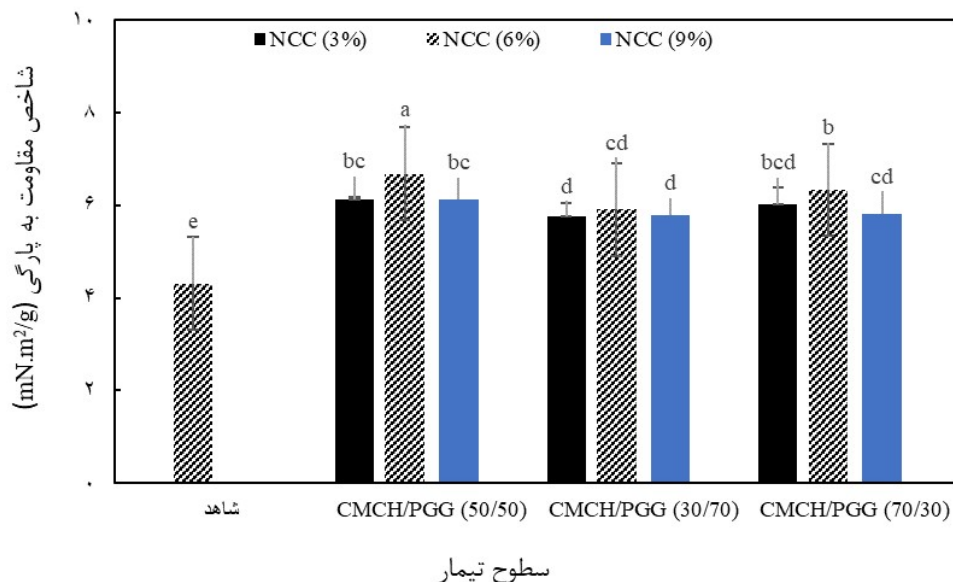


شکل ۷- مقادیر شاخص مقاومت به ترکیدن کاغذهای پوشش‌دهی شده و شاهد

که این شاخص مقاومتی کاهش یابد؛ ولی به دلیل پیوندهای شیمیایی اندک بین NCC با الیاف، اثر منفی این نانوماده بر کاهش این شاخص مقاومتی ناچیز شده است. همچنین NCC با پر کردن فضای بین سلولی باعث نزدیک شدن سلولزها به همدیگر شده و به دلیل استحکام بالا به خاطر ساختار بلورین خود منجر به افزایش خواص مقاومتی کاغذ نهایی شده است [۲۷]. همچنین CMCh/ PGG پس از پوشش‌دهی وارد فضای خالی بین الیاف کاغذ شده و پس از پلیمر شدن، تشکیل یک فیلم یکنواخت روی سطوح کاغذ داده و در نتیجه علاوه بر پیوند شیمیایی با گروه‌های هیدروکسیل سطوح الیاف به صورت مکانیکی نیز الیاف را کنار همدیگر قرار می‌دهند. بالاترین مقدار شاخص مقاومت به پارگی مربوط به تیمار CMCh/ PGG/ NCC (50/50/6%) و کمترین مقدار مربوط به نمونه شاهد به ترتیب به میزان ۶/۶۷ و ۴/۳۱ میلی‌نیوتون در مترمربع بر گرم می‌باشد.

### اثر تیمارهای مختلف بر شاخص مقاومت به پارگی

یکی دیگر از شاخص‌های متداول در ارزیابی مقاومت‌های کاغذ، شاخص مقاومت به پارگی می‌باشد. شکل ۸ مقادیر مختلف شاخص مقاومت به پارگی کاغذهای پوشش‌دهی شده و شاهد را نشان می‌دهد. مقاومت به پاره شدن در ارزیابی استحکام کاغذی که در مراحل تبدیلی در حین مصرف، در معرض تنش‌های پاره شدن قرار می‌گیرد از اهمیت خاصی برخوردار می‌باشد. عوامل مؤثر بر پاره شدن کاغذ شامل طول الیاف، زبری الیاف، قطر الیاف، تعداد الیافی که در پاره شدن کاغذ دخالت دارند و تعداد اتصالات بین الیاف و مقاومت اتصالات می‌باشند [۲۷]. نتایج حاصل از آزمون تجزیه واریانس شاخص پارگی تیمارها نشان می‌دهد که بین این مقادیر در سطح خطای ۵٪، در سطوح مختلف تیمارها اختلاف معنی‌دار آماری وجود دارد. با افزودن NCC به دلیل قرارگرفتن بین الیاف، کاهش اتصال فیبری و همچنین کاهش درصد نسبی طول الیاف انتظار می‌رفت

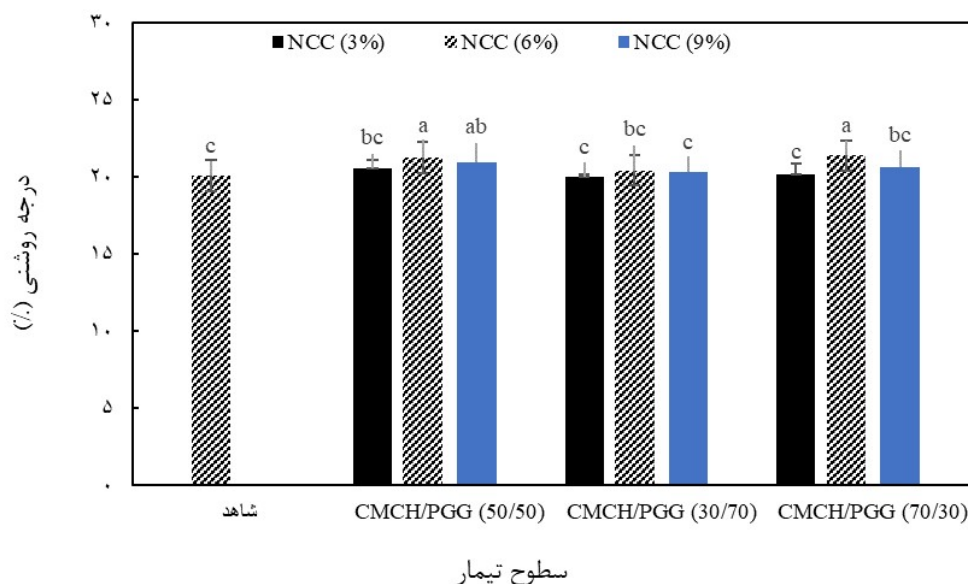


شکل ۸- مقادیر شاخص مقاومت به پارگی کاغذهای پوشش‌دهی شده و شاهد

سوسپانسیون پوشش تأثیر چشمگیری در افزایش درجه روشنی کاغذ داشته است. زیرا PGG و NCC دارای ماهیتی با درجه روشنی بالایی هستند که در نتیجه توانسته‌اند درجه روشنی نمونه‌ها را بهبود دهند [۲۳ و ۳۰]. همچنین در تمامی تیمارها با افزایش NCC تا سطح ۶ درصد درجه روشنی نمونه‌ها افزایش یافته و پس از آن تا سطح ۹ درصد کمی کاهش می‌یابد که بر طبق نتایج حاصل از طیف‌سنجی مادون‌قرمز تبدیل فوریه می‌توان این‌گونه بیان کرد که افزایش این نانوماده تعداد پیوندهای دوگانه تشکیل شده روی سطح سلولز را افزایش داده و بنابراین با افزایش ذرات NCC به شبکه کاغذ درجه روشنی تیمارها کاهش یافت. همچنین بیشترین مقدار درجه روشنی مربوط به تیمار CMCh/ PGG/ (70/30/6%) و کمترین مقدار مربوط به نمونه شاهد به ترتیب به میزان ۲۱/۳۸ و ۲۰/۰۷ درصد بوده است.

### اثر تیمارهای مختلف بر درجه روشنی کاغذها

درجه روشنی از شاخص‌های متداول در ارزیابی ویژگی‌های نوری کاغذ می‌باشد. شکل ۹ مقادیر مختلف درجه روشنی کاغذهای پوشش‌دهی شده و شاهد را نشان می‌دهد. درجه روشنی اولیه بیشتر و نیز سطح ویژه به مراتب بیشتر پرکننده‌ها (نانومواد) نسبت به الیاف را می‌توان به عنوان دلایل افزایش درجه روشنی کاغذ با افزایش درصد پرکننده‌ها نام برد [۲۷]. همان‌طوری که در شکل ۹ مشاهده شد؛ با اضافه شدن NCC به شبکه کاغذ و تغییر ساختار کاغذ، در نتیجه پر شدن فضاهای بین سلولی و افزایش اتصال بین الیاف، عبور نور افزایش یافته و تا حدی درجه روشنی افزایش می‌یابد. نتایج حاصل از آزمون تجزیه واریانس درجه روشنی تیمارها نشان می‌دهد بین این مقادیر در سطح خطای ۵٪، در سطوح مختلف تیمارها اختلاف معنی‌دار آماری وجود دارد. بررسی کاغذهای پوشش‌دهی شده نشان داد که افزودن PGG و NCC به



شکل ۹- مقادیر درجه روشنی کاغذهای پوشش‌دهی شده و شاهد

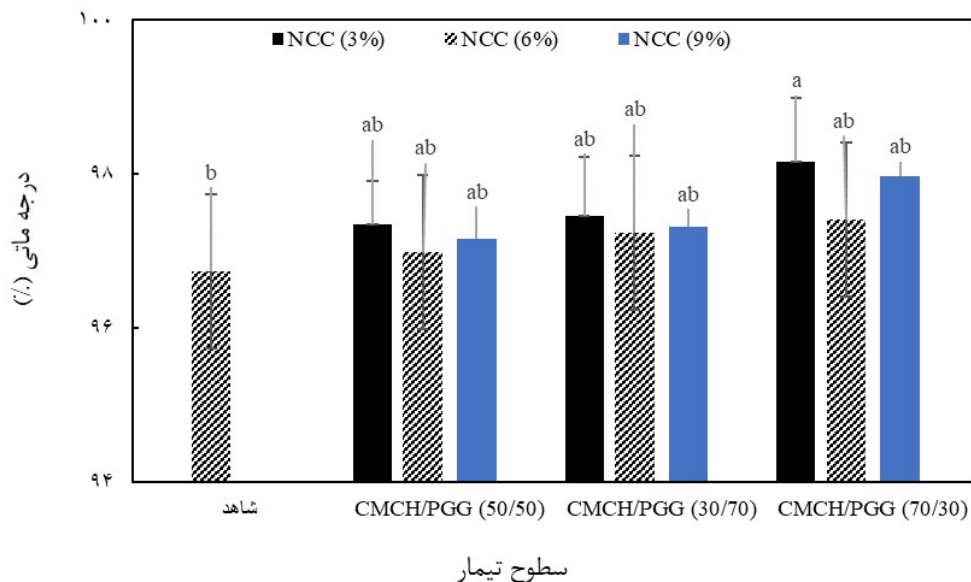
مختلف درجه ماتی کاغذهای پوشش‌دهی شده و شاهد را نشان می‌دهد. به کارگیری پرکننده‌ها سبب تغییر و بهبود ویژگی‌های نوری در انواع کاغذها می‌شود. اما میزان این تغییرات متأثر از ساختار کاغذ، اندازه و سطح ویژه پرکننده و حجمی کاغذ است که در نهایت باعث پراکنش نور و

### اثر تیمارهای مختلف بر درجه ماتی کاغذها

ماتی توان جذب نور کاغذ در یک طول موج معین یعنی ۴۵۷ نانومتر است. عوامل مؤثر بر درجه ماتی شامل فاصله الیاف از یکدیگر، ساختار کاغذ، نوع الیاف، مقدار الیاف ریز و کوتاه و مقدار پرکننده است [۲۷]. شکل ۱۰ مقادیر

سطح پیوند را در پی دارد. بنابراین با افزایش مقدار NCC تا سطح ۶ درصد در شبکه کاغذ، توانایی پیوند بین مواد موجود در شبکه کاغذ (الیاف) زیاد گردید؛ بنابراین بدیهی است که درجه ماتی کاغذ کاهش یابد. اما از طرف دیگر، افزودن ذرات NCC باعث کاهش خلل و فرج موجود در شبکه کاغذ شد. در نتیجه می‌توان بیان نمود که ضریب جذب و پراکنش نور کاهش می‌یابد. لذا این عامل هم دلیل قابل توجهی جهت کاهش درجه ماتی در کاغذ بود. به طور کلی این مبحث را چنین می‌توان جمع بندی کرد که افزایش سطح پیوند موجب کاهش خلل و فرج و به تبع آن کاهش ضخامت شد و کاهش ضخامت نیز سبب قابلیت بیشتر عبور پرتوهای نور از ضخامت کاغذ شده که این بیان کننده کاهش درجه ماتی کاغذها است. بیشترین مقدار درجه ماتی مربوط به تیمار CMCh/ (70/30/3%) و کمترین مقدار مربوط به نمونه شاهد به ترتیب به میزان ۹۸/۱۶ و ۹۶/۷۴ درصد بوده است.

افزایش درجه ماتی در کاغذ می‌شوند. مقدار پراکندگی نور هنگامی که 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 [۲۷]. مهم‌ترین مشخصه مات کنندگی یک پرکننده، شاخص انکسار نور است. هر چه شاخص انکسار نور بیشتر باشد اثر مات کنندگی بیشتر می‌باشد. نتایج حاصل از آزمون تجزیه واریانس درجه ماتی تیمارها نشان می‌دهد که بین این مقادیر در سطح خطای ۵٪، در سطوح مختلف تیمارها اختلاف معنی‌دار آماری وجود ندارد. با افزایش NCC تا سطح ۶ درصد درجه ماتی کاغذها کاهش یافت. زیرا با افزودن ذرات NCC به بافت کاغذ، قابلیت پیوندیابی در کاغذ بهبود یافت. در واقع مهم‌ترین عامل اصلی در این رابطه را می‌توان در دسترس قرار گرفتن گروه‌های هیدروکسیل فراوان نام برد که در نهایت افزایش



شکل ۱۰- مقادیر درجه ماتی کاغذهای پوشش‌دهی شده و شاهد

پلاستیکی و پلیمرهای سنتزی می‌باشند، چون قابلیت بازیافت دارند و اگر در محیط قرار بگیرند به آسانی تجزیه می‌شوند. در این پژوهش ویژگی‌های مقاومتی و نوری کاغذهای پوشش‌دهی شده با اختلاط‌های متفاوت NCC در سوسپانسیون‌های ترکیبی با CMCh/ PGG جهت

### نتیجه‌گیری

استفاده از نانومواد و پلیمرهای زیست‌تخریب‌پذیر می‌توانند باعث بهبود ویژگی‌های مقاومتی و نوری کاغذهای پوشش‌دهی شده با این مواد در کاغذهای بسته‌بندی شوند. این مواد جایگزینی مناسب برای مواد

الیاف کاغذ، درجه روشنی کاغذهای پوشش‌دهی شده نسبت به کاغذ شاهد افزایش یافته است و بیشترین تأثیر در افزایش این ویژگی را NCC داشته است. همچنین افزودن پرکننده NCC تا سطح ۶ درصد ضریب پراکندگی نور در سطح کاغذها را کاهش داده و در نتیجه سبب کاهش درجه ماتی کاغذها شده است؛ ولی تمامی تیمارها دارای درجه ماتی بالاتری نسبت به کاغذ شاهد بودند.

استفاده در صنعت بسته‌بندی بررسی شد. نتایج حاصل از اندازه‌گیری ویژگی‌های مقاومتی کاغذهای پوشش‌دهی شده نشان داد که با حضور NCC تا سطح ۶ درصد این ویژگی‌ها بهبود یافته است که این افزایش را می‌توان به دو پلیمر CMCh/ PGG در سوسپانسیون پوشش‌دهی و همچنین اتصال محدود NCC با الیاف کاغذ نسبت داد. به دلیل ماهیت نانومواد و سطح ویژه بالاتر آن‌ها نسبت به

## منابع

- [1] Sorrentino, A., Gorrasi, G. and Vittoria, V., 2007. Potential perspectives of bio-nanocomposites for food packaging applications. *Trends in Food Science and Technology*, 18: 84-95.
- [2] Missoum, K., Martoia, F. Belgacem. M.N. and Bras, J., 2013. Effect of chemically modified nanofibrillated cellulose addition on the properties of fiber-based materials. *Industrial Crops and Products*, 48: 98-105.
- [3] Nicu, R., Lupei, M. Balan, T. and Bobu, E., 2013. Alkl-chitosan as paper coating material to improve water barrier properties. *Cellulose Chemistry and Technology*, 47(8): 623-630.
- [4] Mashak, A., 2014. A Brief Overview on Biodegradable Polymers in Drug Delivery Systems. *Polymerization*, 4(3): 23-35. [In Persian]
- [5] Coma, V., Martial-Gros, A., Garreau, S. Copinet, A., Salin, F. and Deschamps, A., 2002. Edible antimicrobial films based on chitosan matrix. *Journal of Food Science*, 67(3): 1162-1169.
- [6] Muzzarelli, R.A.A., 1988. Carboxymethylated chitins and chitosans. *Carbohydrate Polymers*, 8: 1-21.
- [7] Chen, L., Du, Y., Tian Z. and Sun, L., 2005. Effect of the degree of deacetylation and the substitution of carboxymethyl chitosan on its aggregation behavior. *Journal of Polymer Science Polymer Physics*, 43: 296-305.
- [8] Rahmani, S., Mohammadi, Z., Amini, M., Isaei, E., Taheritarigh, S., Rafiee Tehrani, N. and Rafiee Tehrani M., 2016. Methylated 4-N, N dimethyl aminobenzyl N, O carboxymethyl chitosanas a new chitosan derivative: synthesis, characterization, cytotoxicity, and antibacterial activity. *Carbohydrate Polymers*, 149: 131-139.
- [9] Shariatinia, Z., 2018. Carboxymethyl chitosan: Properties and biomedical applications. *International Journal of Biological Macromolecules*, 120: 1406-1419.
- [10] Oromiahee, A. and Mirlohi, F.S., 2019. Preparation and Evaluation of Physical and Mechanical Properties of Nano Coating of Carboxymethyl Cellulose and Guar Gum and Nanoparticles of Zinc Oxide. *Scientific Journal of Packaging science and art*, 10(38): 6-17. (In Persian).
- [11] Cheng, S., Zhang, Y., Cha, R., Yang, J. and Jiang, X., 2016. Water soluble nanocrystalline cellulose films with highly transparent and oxygen barrier property. *Nanoscale*, 2: 1-6.
- [12] Poorna, K.S.V., Singh, A., Rathore, A. and Kumar, A., 2016. Novel cross linked guar gum - g- poly (acrylate) porous superabsorbent hydrogels: Characterization and swelling behavior in different environments. *Carbohydrate Polymers*, 149: 175-185.
- [13] Sharma, G., Sharma, Sh., Kumar, A., Al-Muhtaseb, A., Naushad, M., Ghfar, A.A., Mola, G.T. and Stadler, F.J., 2018. Guar gum and its composites as potential materials for diverse applications: A review. *Carbohydrate Polymers*, 199: 534-545.

- [14] Rezayati-Charani, P., Moradian, M.H. and Saadatnia, M.A., 2018. Sequence analysis using cellulose nanofibers, cationic starch and polyacrylamide in the paper tensile strength. *Journal of Wood and Forest Science and Technology*, 25(3): 73-86. (In Persian).
- [15] Irimia-Vladu, M., 2014. Green” electronics: biodegradable and biocompatible materials and devices for sustainable future. *Chemical Society Reviews*, 43(2): 588-610.
- [16] Tatari, A.A. and Shekarian, A., 2014. The Importance of Cellulose Derivatives in the Production of Biodegradable Films for Food Packaging. *Journal of Applied Science and Technology*, 5(19): 22-31. (In Persian).
- [17] Xu, Q., Gao, Y., Qin, M., Wu, K., Fu, Y. and Zhao, J., 2013. Nanocrystalline cellulose from aspen kraft pulp and its application in deinked pulp. *International Journal of Biological Macromolecules*, 60: 241-247.
- [18] Sodeifi, B., Nazarnezhad, N. and Sharifi, H., 2021. Investigation of barrier properties of the coated and treated papers with polycaprolactone/cellulose nanocrystals/ZnO nanoparticles. *Journal of food science and technology*, 17(107): 91-105. (In Persian).
- [19] Laudenslager, M.J., Schiffman, J.D. and Schauer, L.C., 2008. Carboxymethyl Chitosan as a Matrix Material for Platinum, Gold, and Silver Nanoparticles. *Biomacromolecules*, 9(10): 2682-2685.
- [20] Anvar, H. and Sheikhoie Bonab, H., 2021. Synthesis and Evaluation of Physicochemical and Antimicrobial Properties of Bionanocomposites Based on Carboxymethylchitosan Biopolymer - Montmorillonite Nanoclay in the Presence of TiO<sub>2</sub> Nanoparticles. *Iranian Journal of Food Science and Technology*, 18(112): 283-297. (In Persian).
- [21] Saurabh, C.K., Gupta, S., Bahadur, J. Mazumder, S., Variyar, P.S. and Sharma, A., 2015. Mechanical and barrier properties of guar gum based nano-composite films. *Carbohydrate Polymers*, 124: 77-84.
- [22] Tripathi, J., Ambolikar, R., Gupta, S., Jain, D., Bahadur, J. and Variyar, P.S., 2019. Methylation of guar gum for improving mechanical and barrier properties of biodegradable packaging films. *Scientific Reports*, 9(1): 1-9.
- [23] 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. *Iranian Journal of Wood and Paper science research*, 1(34): 31-46. (In Persian).
- [24] Patale, R.L. and Patravale, V.B., 2011. O, N-carboxymethyl chitosan–zinc complex: A novel chitosan complex with enhanced antimicrobial activity. *Carbohydrate Polymers*, 85(1): 105-110.
- [25] Farag, R.K. and Mohamed, R.R., 2013. Synthesis and Characterization of Carboxymethyl Chitosan Nanogels for Swelling Studies and Antimicrobial Activity. *Molecules*, 18(1): 190-203.
- [26] Tang, Y., Zhang, X., Zhao, R., Guo, D. and Zhang, J., 2018. Preparation and properties of chitosan/guar gum/nanocrystalline cellulose nanocomposite films. *Carbohydrate Polymers*, 197: 128-136.
- [27] Sodeifi, B., Nazarnezhad, N. and Sharifi, H., 2019. Investigation of resistance and optical properties of the papers treated with cellulose nanocrystals and zinc oxide nanoparticles. *Iranian Journal of Wood and Paper Industries*, 3(10): 407-415. (In Persian).
- [28] Sodeifi, B., Sharifi, S.H. and Nazarnezhad, N., 2023. Investigation of resistance and optical properties of the papers treated with cellulose nanocrystals and zinc oxide nanoparticles. *Iranian Journal of Wood and Paper Science Research*, 3(38): 225-236. (In Persian).
- [29] Ebrahimpour-Kasmani, J. and Samariha, A., 2023. The Effect of spray coating and freezing of brown liner paper on its physical and mechanical properties. *Iranian Journal of Wood and Paper Industries*, 1(14): 31-40. (In Persian).
- [30] Rao, M.S., Kanatt, S.R. Chawla, S.P. and Sharma, A., 2010. Chitosan and guar gum composite films: Preparation, physical, mechanical and antimicrobial properties. *Carbohydrate Polymers*, 82(4): 1243-1247.

## Investigation of the Resistance and Optical Properties of Papers Coated with Bio-Nanocomposite Carboxymethyl Chitosan/Guar Gum/Nanocrystalline Cellulose

### Abstract

In this research, we investigate the effects of different treatments involving carboxymethyl chitosan (CMCh), purified guar gum (PGG), and nanocrystalline cellulose (NCC) on the resistance and optical properties of coated papers. The samples underwent analysis using X-ray diffraction (XRD) and Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR). Nanocrystalline cellulose (at concentrations of 3%, 6%, and 9%) was incorporated into the coating suspension. Results from the tests indicate enhancements in the resistance characteristics (including tensile, burst, and tear strength indices) of the coated papers. Particularly, the impact of increasing the nanocrystalline cellulose content up to 6% on resistance enhancement was notable. Moreover, the brightness of the coated papers increased, with the highest brightness observed in samples treated with nanocrystalline cellulose up to 6%. Additionally, the opacity of the coated papers increased compared to the control sample, with the lowest opacity observed in samples containing 6% nanocrystalline cellulose.

**Keywords:** Carboxymethyl chitosan, guar gum, nanocrystalline cellulose, packaging papers.

**B. Sodeifi<sup>1</sup>**  
**S. H. Sharifi<sup>2\*</sup>**  
**S. M. Zabih zadeh<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> Ph.D. Student in wood industry and cellulose products, Wood and Paper Science Department, Faculty of Natural Resources, Sari Agricultural Sciences and Natural Resource University Sari, Iran

<sup>2</sup> Assist. Prof., Wood and Paper Science Department, Faculty of Natural Resources, Sari Agricultural Sciences and Natural Resource University Sari, Iran

<sup>3</sup> Assoc. Prof., Wood and Paper Science Department, Faculty of Natural Resources, Sari Agricultural Sciences and Natural Resource University Sari, Iran

Corresponding author:  
[h.sharifi@sanru.ac.ir](mailto:h.sharifi@sanru.ac.ir)

Received: 2024/02/05  
Accepted: 2024/03/25