

## تأثیر اندودسازی سطحی کاغذ با نانوهیدروژل کایتوزان-اکریلیک اسید بر جذب آب، ویژگی‌های مقاومتی و نوری

حسین جلالی ترشیزی<sup>۱\*</sup>، عبدالله عابدی بفرآرد<sup>۲</sup> و رضا شیدپور<sup>۱</sup>

\*۱- نویسنده مسئول، استادیار، دانشکده مهندسی فناوری‌های نوین، دانشگاه شهید بهشتی، ایران، پست الکترونیک: H\_Jalali@sbu.ac.ir

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی فناوری‌های نوین، دانشگاه شهید بهشتی، ایران

۳- استادیار، دانشکده مهندسی فناوری‌های نوین، دانشگاه شهید بهشتی، ایران

تاریخ دریافت: تیر ۱۳۹۷ تاریخ پذیرش: شهریور ۱۳۹۷

### چکیده

تأمین همزمان ویژگی‌های متعارض در کاغذ از مهمترین مسائلی کاغذسازان بوده که مثلاً در کاغذهای بهداشتی، تأمین مقاومت مطلوب توأم با جذب آب بالا، اهمیت بسیاری دارد. زیرا افزایش پیوندیابی منجر به کاهش دسترس پذیری گروه‌های آب‌دوست می‌شود. بدین منظور از هیدروژل که کاربرد روزافزونی در فرآورده‌های حجیم سلولزی جاذب دارد، به عنوان اندود سطحی کاغذ و کاغذهای آغشته شده با آب مقطر به عنوان شاهد استفاده گردید. هیدروژل کایتوزان-اکریلیک اسید پس از تهیه، توسط همگن‌ساز فراصوت به ابعاد نانو تبدیل و با ابزار پراکنش نور پویا، مقیاس ذرات تأیید گردید. تصاویر SEM و نتایج ضخامت، نشست نانوهیدروژل بر سطح کاغذ را تأیید نمود. جذب آب کاغذهای اندود شده با ۱، ۱/۵ و ۲٪ نانوهیدروژل افزایش چشمگیری یافته و تا ۵۰٪ بهبود را نسبت به کاغذ تیمار نشده نشان داد. شاخص‌های ترکیدن و کششی خشک کاغذ همزمان با بهبود جذب آب افزایش یافته، اما شاخص پارگی بدون تغییر باقی ماند. افزایش پیوندیابی بین لیفی ناشی از فراوانی گروه‌های کربوکسیلیک اسید در اکریلیک اسید و نیز هیدروکسیلی و آمینی در کایتوزان بوده و تشکیل فیلم نانوهیدروژل نیز به عنوان ساختاری مکمل و پیوسته با بستر سلولزی، منجر به بهبود مقاومت‌ها می‌گردد. شاخص کششی تر فقط در بالاترین سطح اندودسازی (۲٪) افزایش چشمگیری داشته و در سطوح پایین تر موفق نبوده است. ماتی، سفیدی و روشنی کاغذهای اندود شده تقریباً ثابت ولی زردی بدلیل ماهیت کایتوزان افزایش یافت. سفتی کاغذهای اندود شده در مقایسه با اندود نشده افزایش ولی نسبت به نمونه‌های آب مقطر در تمامی سطوح کاهش داشته و به عبارتی منجر به افزایش نرمی شد. تیمار آبی کاغذها، منجر به کاهش ضخامت، شاخص‌های کششی و ترکیدن و افزایش سفتی شد.

واژه‌های کلیدی: اندود سطحی، ویژگی‌های کاغذ، نانوهیدروژل کایتوزان-اسیداکریلیک.

### مقدمه

کاغذ کاربردهای متعدد و متنوعی در زندگی امروزه داشته که از مهمترین و بی‌بدیل‌ترین موارد آن، کاربردهای بهداشتی است. ایران کشوری در حال توسعه به ویژه در زمینه‌های بهداشتی و فرهنگی است که فاصله سرانه

مصرف کاغذهای بهداشتی کشور (۱/۲۵ کیلوگرم) با سرانه دنیا (۴ کیلوگرم)، دورنمای این زمینه و صنایع وابسته به آن را نشان می‌دهد (Afra et al., 2015). ویژگی‌های مناسب مقاومتی و نوری از جمله ویژگی‌های مشترک اغلب فرآورده‌های کاغذی است، اما وجه تمایز آشکار

(Hong & Tang 2014). با این حال، اتصالات عرضی ایجاد شده توسط این زیست‌بسپار به طور قابل توجهی منجر به کاهش جذب آب کاغذ می‌گردد (Jalali Torshizi et al., 2017). کایتوزان دارای گروه آمین آزاد است که به راحتی در اسید حل می‌شود. واکنش مواد آنیونی مانند آکرلیک اسید با کایتوزان (در حضور عامل اتصال عرضی)، هیدروژلی دارای اتصالات عرضی فراوان را ایجاد می‌کند که علاوه بر دارا بودن بارهای کاتیونی و آنیونی، به شدت جاذب آب است. آکرلیک اسید، پلی‌الکترولیت و سوپرجاذب غیرسمی و تجاری است که کاربرد آن در فرآورده‌های بهداشتی جاذب به طور چشمگیری افزایش یافته است (Hong & Tang 2014). تا جایی که مطالعه جذب آب هیدروژل آکرلیک اسید پیوند یافته با کایتوزان، جذب حدود  $90 \text{ g/g}$  را نشان داده است (Astrini et al., 2017). از آنجایی که بیش از ۸۰٪ هیدروژل‌های تولیدی صرف فرآورده‌های جاذب بهداشتی می‌شوند، با هدف نیل به امکان تأمین همزمان مقاومت‌ها و نیز جذب آب فرآورده سلولزی، در این پژوهش سعی شد تا با اعمال هیدروژلی مرکب از کایتوزان به عنوان زیست‌بسپار مقاومت خشک و دارای برقراری اتصالات عرضی مقاوم به آب و نیز آکرلیک اسید به عنوان سوپرجاذب آب، چگونگی و گستره تأثیر آن بر ویژگی‌های کاغذ شناسایی گردد.

### مواد و روش‌ها

مواد:

کایتوزان با وزن مولکولی متوسط (۳۱۰ - ۱۹۰ کیلودالتون) و میزان استیل‌زدایی ۸۵-۷۵٪ از شرکت Sigma-Aldrich، آکرلیک اسید از شرکت Merck و N'-Methylenebisacrylamid N, (NMBA) و پتاسیم پرسولفات از شرکت شیمی پژوهش آسیا تهیه شد. کاغذ چاپ و تحریر با گراماژ  $70 \text{ (g/m}^2\text{)}$ ، میزان رطوبت ۴/۵٪ و خاکستر ۲۰٪، از کارخانه کاغذسازی تبریز-امیرآباد مازندران تهیه و اندازه‌گیری ویژگی‌های کاغذهای شاهد

کاغذهای بهداشتی، انعطاف‌پذیری و نرمی مناسب و مهمتر از آن ظرفیت زیاد جذب مایعات توأم با حفظ استحکام و ساختار کاغذ در حالت کاملاً آغشته با مایع است؛ بنابراین از جمله موارد بغرنج و پارادوکس در تولید کاغذهای بهداشتی، انتخاب نوع و میزان افزودنی‌هایی است که علاوه بر تأمین مقاومت تر کاغذ، منجر به افت چشمگیری در ظرفیت جذب آب و نیز نرمی کاغذ نشود (Jalali Torshizi et al., 2017). زیرا تأمین مقاومت کاغذ مستلزم افزایش پیوندیابی و اتصالات با گروه‌های هیدروکسیلی الیاف سلولزی است که علاوه بر از دسترس خارج نمودن گروه‌های هیدروکسیلی سطح الیاف برای جذب مولکول‌های آب، منجر به افزایش سفتی و به عبارتی کاهش نرمی و انعطاف‌پذیری کاغذ می‌گردد. به طور معمول برای تأمین مقاومت تر فرآورده‌های بهداشتی، رزین‌های سنتزی به ویژه پلی‌آمیدوآمین‌ابی‌کلروهیدرین (Jalali Torshizi et al., 2017) و پلی‌اکریلامید گلی‌اکسال‌دار (Yadollahi, et al., 2014) به خمیر کاغذ و در پایانه تر افزوده می‌شود که به طور اجتناب‌ناپذیری کاهش جذب آب و نرمی کاغذ را سبب می‌گردد. در عین حالی که مشکل تجزیه‌ناپذیری و منومرهای سمی آزاد شده از این افزودنی‌ها موجب نگرانی است. با این حال همزه و همکاران، روش اندود سطحی را در مقایسه با کاربرد افزودنی در دوغاب خمیر کاغذ، در بهبود ویژگی‌ها موفق‌تر گزارش نمودند که تا حدودی نیز فاقد مشکلات آلاینده‌گی در پایانه تر کاغذسازی است (Hamzeh, et al., 2015). مطالعات متعددی بر کاربرد کایتوزان، به عنوان زیست‌بسپاری غیرسمی و دوستدار محیط‌زیست برای ارتقای مقاومت‌های تر و خشک کاغذ و نیز توانایی آن در نگه‌دارندگی و آبگیری از اجزای دوغاب خمیر کاغذ، با تکیه بر سازگاری و شباهت ساختاری آن با سلولز گزارش شده است (Nicu, et al., 2011). اسپری نانوکایتوزان بر کاغذهای بسته‌بندی آنتی‌باکتریال، منجر به افزایش مقاومت کششی، ترکیدن و تا خوردن نسبت به نمونه شاهد و بدون تغییر در ضخامت کاغذ گردید

نانومتر، مقیاس نانوذرات تأیید گردید. حجم‌های ۵، ۷/۵ و ۱۰ میلی لیتر آب مقطر و نیز به ترتیب محلول نانو هیدروژل ۱، ۱/۵ و ۲ درصد جرم کاغذ به صورت سطحی بر کاغذ اعمال شده و پس از خشک کردن کاغذ تیمار شده در  $70^{\circ}\text{C}$  و به صورت مقید (برای ممانعت از چروک و هم‌کشیدگی) در کیسه‌های زیپ‌دار نگهداری شد. از نرم‌افزار آماری SPSS برای تحلیل داده‌ها و از آزمون دانکن برای گروه‌بندی میانگین داده‌ها استفاده گردید.

### نتایج

#### تصاویر SEM مقطع عرضی

بررسی میکروگراف‌های تهیه شده از راستای ضخامت کاغذهای تیمار شده (شکل ۱ ب-د) و مقایسه با نمونه شاهد (شکل ۱ الف)، به خوبی رسوب لایه‌ای متمایز از متن شبکه لیفی سلولزی به صورت توده‌ای پیوسته و غیرممتخلخل را بر سطح کاغذ نشان می‌دهد. نکته جالب توجه ضخیم‌تر شدن لایه مزبور بدلیل افزایش میزان اعمال نانو هیدروژل (از ۱ تا ۲٪) بر سطح کاغذ است. همچنین افزایش تراکم و فشردگی راستای Z و کاهش حجمی فضا در تصاویر مختلف نمونه‌های تیمار شده مشاهده گردید که می‌تواند ناشی از تکرار خیس و خشک شدن مقید نمونه‌های کاغذی باشد. این استنباط با تغییرات ضخامت کاغذ سازگار بوده که در ادامه ارائه شده است.

(فاقد اندود و به صورت دریافت شده از کارخانه) و تیمار شده طبق استانداردهای آیین‌نامه TAPPI برابر زیر انجام شد: شاخص پارگی (T414 om-98)، شاخص سفتی خمشی (T489 om-04)، شاخص کششی تر (T456 om-03)، شاخص کشش خشک (T494 om-01)، شاخص ترکیدن (T403 om-97)، سفیدی (T560 om-05) و براقیت (T452 om-02). درصد جذب آب کاغذ نیز برابر استاندارد ملی ایران ISIRI 2421 به صورت نسبت میزان آب جذب شده به جرم خشک کاغذ اندازه‌گیری شد. تهیه ریزنگاره از ضخامت کاغذها توسط میکروسکوپ الکترونی روبشی<sup>۱</sup> (SEM) مدل HITACHI انجام گردید.

#### تهیه نانو هیدروژل کایتوزان-آکرلیک اسید

سنتز هیدروژل کایتوزان-آکرلیک اسید بر اساس روش Spagnol و همکاران (۲۰۱۲) انجام شد (Spagnol *et al.*, 2012). بدین منظور میزان ۰/۰۱۵ گرم اتصال‌دهنده عرضی<sup>۲</sup> NMBA به محلول حاوی ۰/۰۱ گرم کایتوزان و ۰/۴۹ گرم آکرلیک اسید در حجم ۱۰ میلی لیتر آب مقطر افزوده و تا  $50^{\circ}\text{C}$  حرارت داده شد. سپس ۰/۰۱ گرم پتاسیم پرسولفات به عنوان آغازگر<sup>۳</sup> واکنش به محلول افزوده و دما به  $60^{\circ}\text{C}$  افزایش یافته و در حالت همزدن به مدت ۲ ساعت حفظ گردید. سپس محلول هیدروژل توسط تیتراسیون با محلول NaOH یک مولار خنثی شده و در نهایت در دمای  $80^{\circ}\text{C}$  به مدت ۲۴ ساعت در کوره خشک گردید. تبدیل هیدروژل به نانو هیدروژل، پس از متورم‌سازی هیدروژل تهیه شده به مدت ۲۴ ساعت در آب مقطر، در دستگاه همگن‌ساز فراصوت<sup>۴</sup> مدل MISONIX به صورت دو دوره ۱۰ دقیقه‌ای با فرکانس ۷۰ kHz انجام شده و با کمک دستگاه پراکنش نور پویا<sup>۵</sup> (DLS) مدل Nanophox 90-246V با دامنه اندازه‌گیری ۱-۱۰۰۰۰

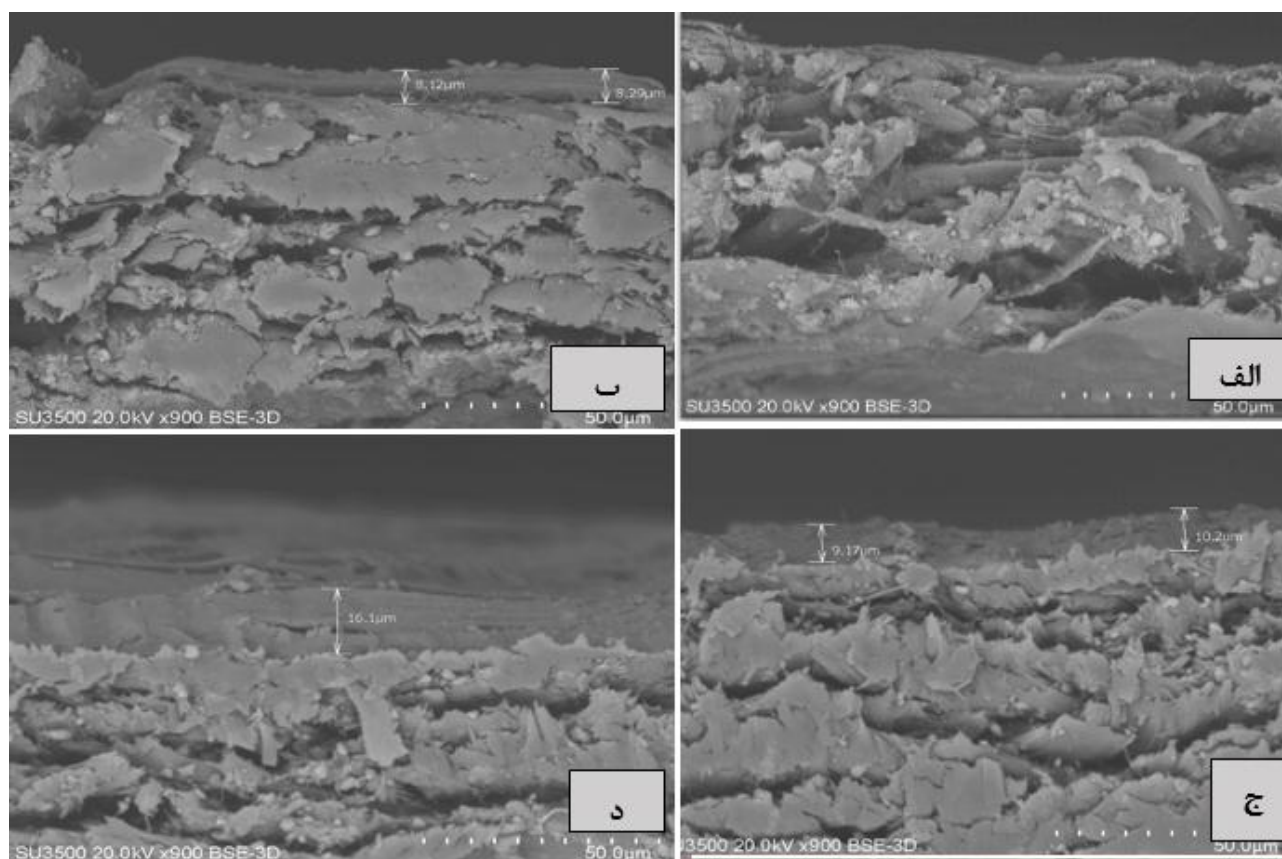
1- Scanning Electron Microscope

2- Cross Linker

3- Initiator

4- Ultrasonic Homogenizer

5- Dynamic light Scattering

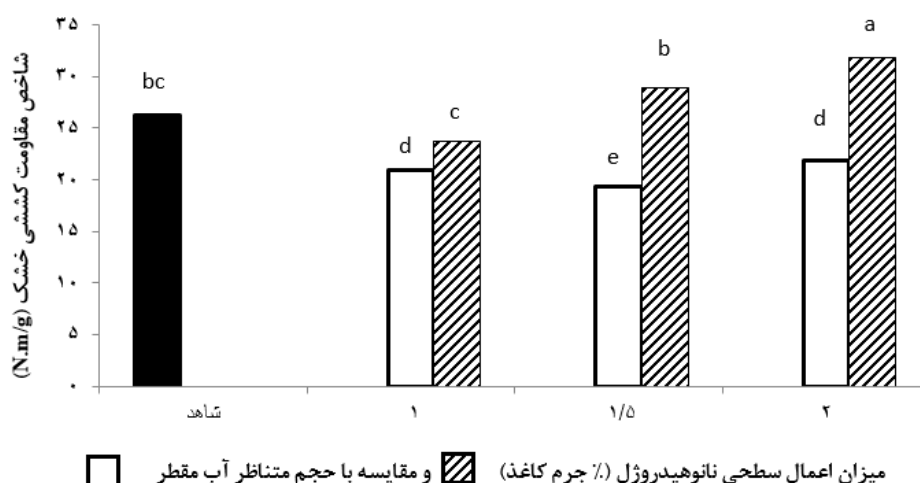


شکل ۱- ریزنگاره‌های SEM ضخامت کاغذهای شاهد (الف)، اندودشده با نانوهیدروژل ۱٪ (ب)، ۱/۵٪ (ج) و ۲٪ (د).

#### شاخص کششی خشک

مقاومت فراورده‌های سلولزی به کشش وارده بر آنها از اهمیت چشمگیری در کاربرد نهایی محصول و نیز فرایندهای تولیدی و تبدیلی آن برخوردار است. خیس و خشک شدن الیاف سلولزی و تجدید این چرخه به‌ویژه در تکرارهای زیاد، افت قابلیت پیوندیابی و کاهش مقاومت کاغذ را به‌همراه داشته که عمدتاً به پدیده استخوانی شدن مرتبط می‌گردد؛ بنابراین کاهش مقاومت کاغذهای خیس شده با آب مقطر در مقایسه با نمونه شاهد قابل توجه است. اما اعمال سیال آبی حاوی نانوهیدروژل تماماً منجر به بهبود چشمگیر و معنی‌دار شاخص کشش نسبت به آب مقطر گردید. تا جایی که در مقایسه با نمونه شاهد (۲۶/۲ N.m/g)، نقصان مقاومتی ناشی از خشک و خیس شدن، به‌طور کامل مهار شده و به‌جز پایین‌ترین سطح

کاربرد (۱٪)، در کاربرد ۱/۵ و ۲٪ نانوهیدروژل به‌ترتیب بیش از ۱۰ و ۲۰٪ افزایش مقاومت به کشش حاصل گردید. وجود سرشار گروه‌های کربوکسیلیک اسیدی در ساختار اسید اکریلیک به‌عنوان جزء برتر سازنده هیدروژل کایتوزان-اکریلیک اسید و نیز گروه‌های عاملی هیدروکسیلی و آمینی در ساختار کایتوزان (Habibie et al., 2016) به ارتقای پیوندیابی کاغذ اندودشده کمک نموده و فیلم نانوهیدروژل نیز به‌عنوان ساختاری مکمل و پیوسته با ماده زمینه سلولزی، منجر به بهبود مقاومت می‌گردد. کاهش غیرمعنی‌دار شاخص کشش در تیمار حاوی ۱٪ نانوهیدروژل می‌تواند ناشی از برتری اثر کاهنده خیس و خشک شدن کاغذ نسبت به تأثیر بهبوددهندگی نانوهیدروژل تفسیر گردد که با افزایش میزان کاربرد نانوهیدروژل، این حالت معکوس شد (شکل ۲).

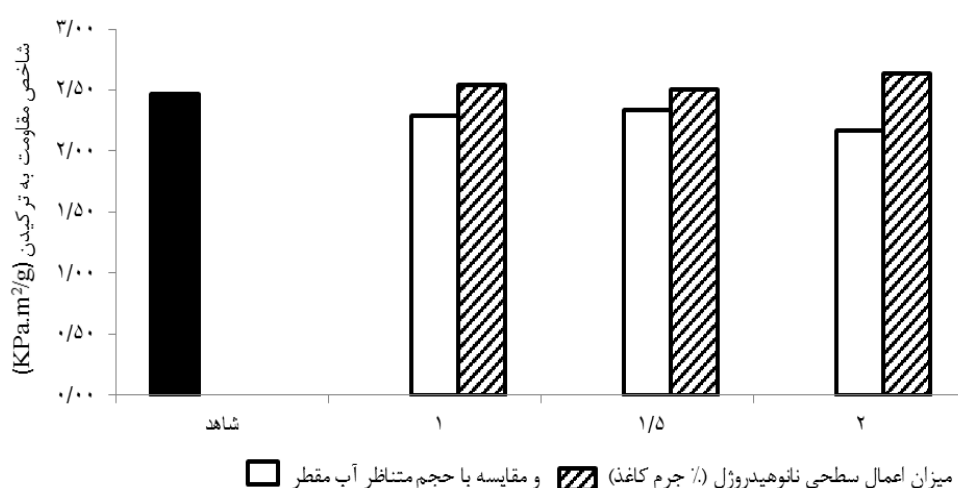


شکل ۲- تأثیر اعمال سطحی نانوهیدروژل و آب مقطر بر شاخص مقاومت کششی خشک کاغذ

دلایل ارائه شده در بخش شاخص کشش بدلیل همانندی تأثیرپذیری با شاخص کشش، در اینجا نیز مصداق دارد. تنوع و فراوانی حضور گروه‌های عاملی دارای پیوندیابی با الیاف مشتمل بر  $-OH$ ،  $-CONH_2$ ،  $-COOH$  و  $-COO^-$  منجر به بهبود استحکام کاغذ و افزایش توان تحمل تنش‌های مکانیکی اعمالی بر ساختار کاغذ می‌گردد که به خوبی با افزایش میزان کاربرد نانوهیدروژل، ارتقای بیشتر مقاومت‌های کششی و ترکیدن -که هر دو عمدتاً تابع پیوندیابی بین لیفی هستند- قابل مشاهده است.

### شاخص ترکیدن

به عنوان قانون کلی، مقاومت به ترکیدن فرآورده‌های کاغذی از فاکتورهای یکسانی با مقاومت کششی تبعیت نموده و عموماً روندی مشابه را نشان می‌دهد؛ بنابراین و همانند اثرها و روند مشاهده شده در ویژگی کششی، اعمال سطحی نانوهیدروژل کایتوزان-اکریلیک اسید منجر به بهبود شاخص ترکیدن کاغذ از  $2/4$  به بیش از  $2/6$  ( $KPa.m^2/g$ ) گردید. همچنین تمامی مقادیر اعمالی آب مقطر بر سطح کاغذ، کاهش پیوسته شاخص ترکیدن را به همراه داشته که

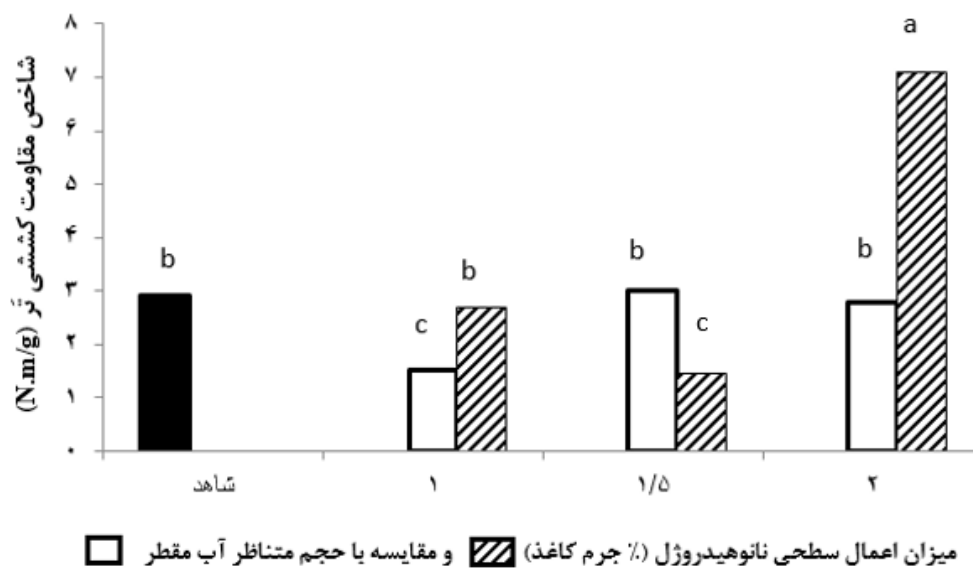


شکل ۳- تأثیر اعمال سطحی نانوهیدروژل و آب مقطر بر شاخص مقاومت به ترکیدن کاغذ

## شاخص کششی تر

افزایش شاخص مقاومتی تر کاغذ شود. از سوی دیگر ماهیت به شدت آب دوست هیدروژل نیز بدلیل جذب آب بیش از ظرفیت ساختار لیفی کاغذ در ساختار سه بعدی هیدروژل، می تواند دلیلی بر کاهش شاخص مقاومتی کاغذ اندود شده با نانوهیدروژل در حالت خیس باشد. لازم به ذکر است که نمونه های آغشته شده با آب مقطر عمدتاً از تغییر شاخص کششی تر مصون بوده اند. افزایش اتصالات عرضی بین رشته های سلولزی - خواه در مقیاس میکرو یا ماکرو - بر اثر چرخه خیس و خشک شدن پذیرفته شده است که در توجیه عدم تغییر شاخص کششی تر کاغذ های مزبور (آغشته با آب مقطر) قابل ذکر و استدلال است.

دارا بودن بخشی از استحکام اولیه (خشک) فراورده های کاغذی پس از مرطوب شدن توسط مایعات (عمدتاً آب) در بسیاری از فراورده های سلولزی مطلوب و در برخی موارد مانند دستمال های کاغذی، کاغذ اسکناس و اوراق بهادار، کیسه چای، فیلترها و ... الزامیست؛ بنابراین ایجاد مقاومت تر توسط پیوندهایی مقاوم در برابر آب مانند کووالانسی محقق می گردد. گروه آمینی کایتوزان می تواند منجر به برقراری پیوند کووالانسی مقاوم به آب شود (Chen et al., 2013). اما همان گونه که در شکل ۳ مشاهده می شود، سهم اندک کایتوزان (۲٪ جرم نانوهیدروژل) اغلب نتوانسته منجر به

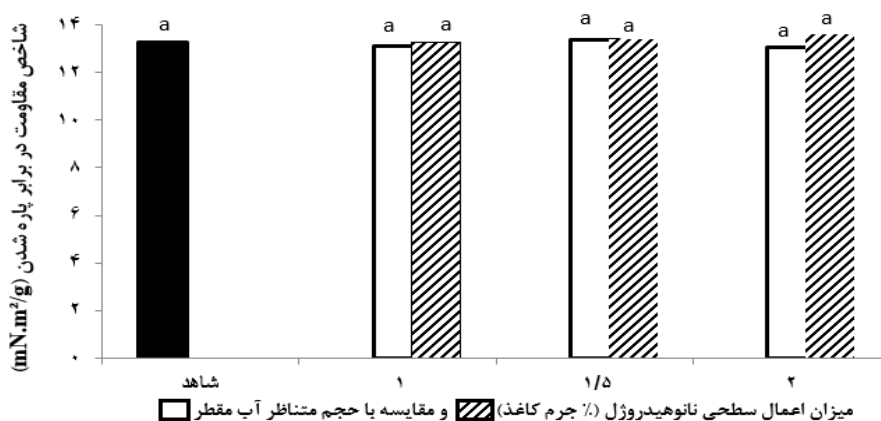


شکل ۴- تأثیر اعمال سطحی نانوهیدروژل و آب مقطر بر شاخص کششی تر کاغذ

## شاخص پارگی

شکل ۴، اعمال نانوهیدروژل و نیز آب مقطر فاقد تأثیر معنی دار و ملموسی بر شاخص پارگی کاغذ بوده و فقط منجر به کسب مقاومت (mN.m<sup>2</sup>/g) ۱۳/۶ در مقایسه با نمونه شاهد (mN.m<sup>2</sup>/g) ۱۳/۳ گردید؛ بنابراین اعمال سطحی نانوهیدروژل کایتوزان-اکریلیک اسید تأثیری بر شاخص پارگی کاغذ نداشته است.

مقاومت پارگی کاغذ به ویژه از منظر فرایندپذیری کاغذ و فرایندهای تبدیلی مانند چاپ و بسته بندی حائز اهمیت بوده و عمدتاً ناشی از ساختار مورفولوژیکی الیاف و کیفیت شکل گیری کاغذ است. اما کمیت و کیفیت اتصالات در ساختار کاغذ نیز بر این مقاومت تأثیر گذار است. بر اساس

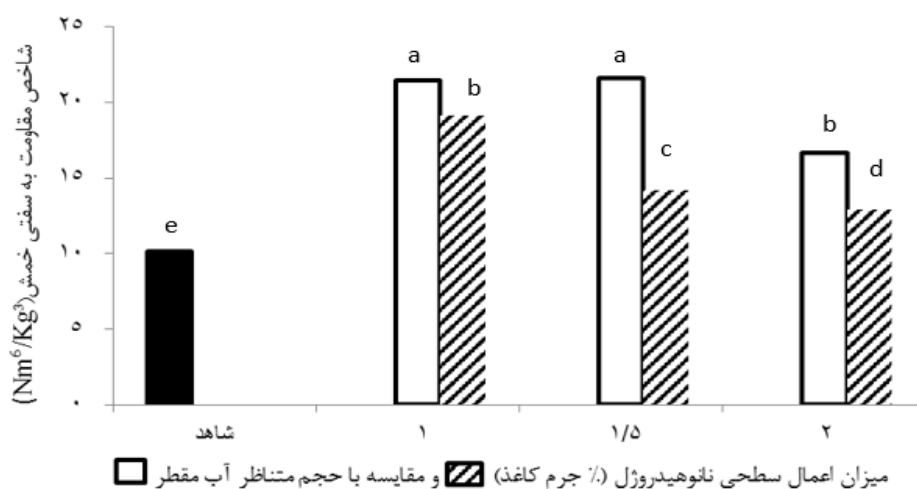


شکل ۵- تأثیر اعمال سطحی نانوهیدروژل و آب مقطر بر شاخص پارگی کاغذ

#### سفتی خمشی

است. اما افزایش میزان اعمال نانوهیدروژل به طور یکنواختی منجر به کاهش سفتی و به عبارتی افزایش نرمی گردیده است. لازم به ذکر است که در تمامی سطوح مطالعه، سفتی خمشی کاغذهای تیمار شده با نانوهیدروژل کمتر از کاغذهای آغشته با آب مقطر است. افزایش سفتی خمشی کاغذ نسبت به تیمار شاهد در تیمارهای آب بدلیل چرخه خیس شدن شبکه لیفی و پدیده استخوانی شدن و کاهش انعطاف پذیری، قابل توجه است؛ بنابراین و در واقع اعمال نانوهیدروژل منجر به افزایش نرمی و انعطاف پذیری کاغذ در مقایسه با خیساندن توسط آب مقطر و خشک کردن پس از آن شده، در عین حالی که به سطحی برابر با نمونه شاهد کاهش پیدا نکرد.

نرمی و انعطاف پذیری زیاد و به عبارتی سفتی کم در برابر خمش و مچاله شدن از مهمترین ویژگی های مورد توجه عام و خاص در کاغذهای بهداشتی است. در تمامی فرآورده های سلولزی بدیهی است که با کاربرد مواد شیمیایی افزایش دهنده پیوندیابی، آزادی و انعطاف ساختار لیفی محدود شده که در عین مطلوبیت در بسیاری از فرآورده ها مانند کاغذهای بسته بندی، در فرآورده های سلولزی بهداشتی به عنوان ماهیتی نامطلوب و البته اجتناب ناپذیر محسوب می گردد؛ بنابراین و با توجه به افزایش پیوندیابی مستند شده در مقاومت های کاغذ بر اثر اعمال سطحی نانوهیدروژل، افزایش سفتی خمشی تمامی کاغذهای تیمار شده نسبت به نمونه شاهد قابل گزارش



شکل ۶- تأثیر اعمال سطحی نانوهیدروژل و آب مقطر بر سفتی خمشی کاغذ

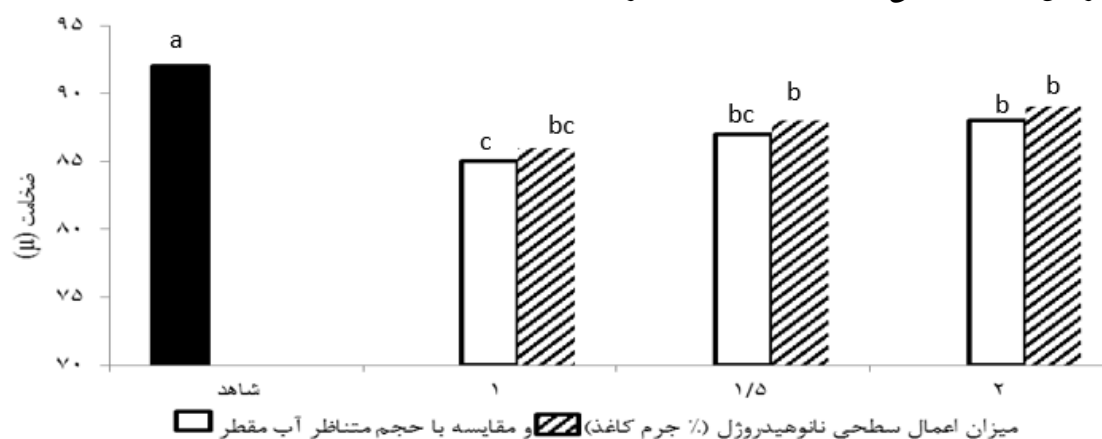
## ضخامت کاغذ

ضخامت اولیه کاغذ (۹۲ میکرومتر) نشد.

نتایج ضخامت کاغذ نشان‌دهنده کاهش معنی‌دار در تمامی تیمارهای آب مقطر و نانوهیدروژل در مقایسه با نمونه کاغذ شاهد بوده که در سازگاری با تصاویر SEM تهیه شده از سطح مقطع عرضی (راستای Z) است. خیس شدن دوباره الیاف سلولزی و خشک شدن تحت فشار، منجر به تشدید فشردگی و انسجام ساختار کاغذ شده که به صورت کاهش ضخامت بروز می‌نماید. اعمال نانوهیدروژل نیز به طور پیوسته‌ای منجر به افزایش میانگین ضخامت کاغذهای اندود شده نسبت به نمونه‌های آغشته به آب مقطر گردید که البته از منظر آماری تفاوت معنی‌داری حاصل نشد. در عین حالی که افزایش ضخامت ناشی از اندود اعمال شده، منجر به

## جذب آب

هدف اصلی کاربرد هیدروژل‌ها، افزایش ظرفیت جذب آب است و در فراورده‌های بهداشتی از اهمیت زیادی برخوردار بوده که مأموریت اصلی این پژوهش است. اعمال سطحی نانوهیدروژل منجر به افزایش چشمگیر ظرفیت جذب آب کاغذ اندود شده با ۱٪ نانوهیدروژل تا بیش از ۹۵٪ نسبت به شاهد (۶۴٪) شد (شکل ۱۲)؛ اما نکته جالب توجه، افزایش پیوسته جذب آب کاغذهای تیمار شده با آب بوده که پس از اطمینان از تکرارپذیری داده‌ها، دلیلی برای آن یافت نشد.



شکل ۷- تأثیر اعمال سطحی نانوهیدروژل و آب مقطر بر ضخامت کاغذ



شکل ۸- تأثیر اعمال سطحی نانوهیدروژل و آب مقطر بر جذب آب کاغذ



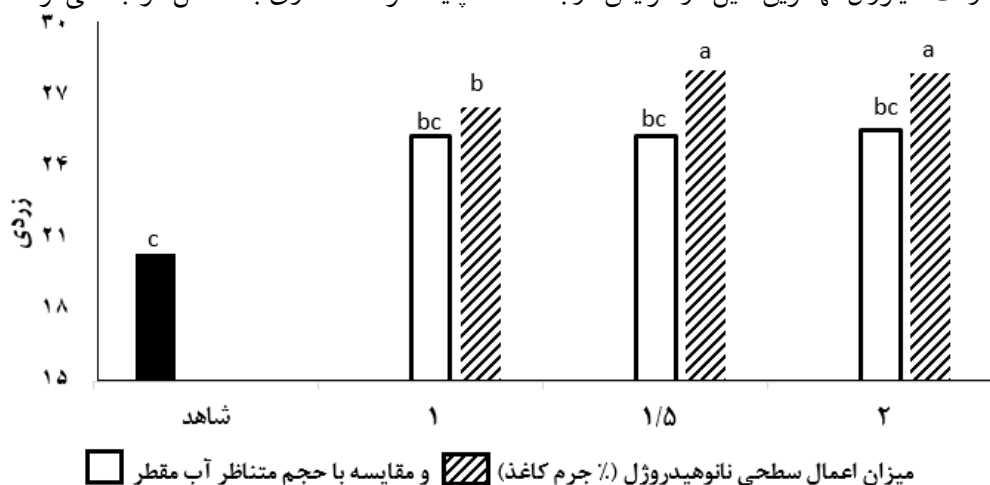
## ویژگی‌های نوری

زردی کاغذ اندودشده است.

در کاغذهای بهداشتی، ظاهر مطلوب کاغذ هم از لحاظ مصرف‌کننده و نیز قابلیت چاپ طرح و نقش بر کاغذ از اهمیت بالایی برخوردار است. در نمونه کاغذهای شاهد و تیمار شده با نانو هیدروژل و آب مقطر، بررسی ویژگی‌های نوری مشتمل بر ماتنی (۹۱-۹۲٪)، روشنی (۱۰۲-۱۰۴٪)، سفیدی (۸۰-۸۱٪) حکایت از عدم تغییر نسبت به یکدیگر و نیز در سطوح مختلف اعمالی داشته که به همین دلیل از ارائه روند داده‌های مزبور اجتناب گردید. اما زردی کاغذ بدلیل اعمال نانو هیدروژل کایتوزان-اکریلیک اسید دستخوش افزایش گردید. به طوری که درجه زردی کاغذ از ۲۰ در نمونه شاهد به ۲۸ در نمونه‌های اندودشده با ۲ و ۱/۵ درصد نانو هیدروژل افزایش یافت. طبیعت متمایل به زرد رنگ کایتوزان مهمترین دلیل در افزایش درجه

## بحث

عدم ماندگاری مناسب مواد افزودنی در پایانه تر کاغذسازی و نیز سطح پائین فناوری در برخی واحدهای تولیدی انواع کاغذ، روش اعمال سطحی مواد متنوع افزودنی بر سطح کاغذ را بجای افزودن به دوغاب خمیر کاغذ در معرض توجه قرار داده است. از سویی تمایل به افزایش ظرفیت جذب آب در فراورده‌های بهداشتی سلولزی، طیف وسیعی از انواع هیدروژل‌ها را در معرض انتخاب قرار داده که بدلیل ماهیت جذب آب بالای آنها در تماس با آب، به دلایل فرایندی (میزان و سرعت آگیری)، کاربرد آنها در پایانه تر کاغذسازی با مشکل مواجه می‌گردد.



شکل ۹- تأثیر اعمال سطحی نانو هیدروژل و آب مقطر بر زردی کاغذ

شاهد نائل نگردید که از جنبه ظرفیت بسته‌بندی کاغذهای بهداشتی حائز اهمیت است. تصاویر SEM نیز لایه متمایز اندود بر سطح کاغذ را تأیید نمود. باین‌حال، سفتی کاغذهای اندودشده در مقایسه با نمونه شاهد افزایش یافته که با توجه به افزایش بیش از دو برابری سفتی کاغذهای تیمار شده با آب مقطر، عمدتاً نشئت گرفته از خیس و خشک شدن کاغذ تفسیر می‌گردد. به عبارتی هیدروژل نانوکایتوزان-اکریلیک اسید در واقع منجر به بهبود نرمی (کاهش سفتی) کاغذ خیس شده با محلول نانو هیدروژل در مقایسه با کاغذ

نتایج اعمال نانو هیدروژل کایتوزان-اکریلیک اسید بر سطح کاغذ افزایش ظرفیت جذب آب تا حدود ۵۰٪ را موجب گردیده که بدلیل حضور کایتوزان به عنوان زیست‌بسپاری با رنگ متمایل به زرد، افزایش زردی کاغذ اندودشده نیز حاصل گردید. اما دیگر ویژگی‌های نوری مشتمل بر ماتنی، سفیدی و روشنی مصون از تغییرات باقی ماند. ضخامت کاغذ توأم با افزایش میزان اعمال نانو هیدروژل افزایش یافته، اما به دلیل خیس‌اندن کاغذ و نیز خشک شدن دوباره آن تحت فشار، ضخامت کاغذ به ضخامت اولیه کاغذ

- In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 223(1) 12-45.
- Chen, Z., Zhang, H., Song, Z. and Qian, X., 2013. Combination of glyoxal and chitosan as the crosslinking system to improve paper wet strength. *BioResources*, 8(4), 6087-6096.
- Habibie, S., Hamzah, M., Anggaravidya, M. and Kalembang, E., 2016. The effect of chitosan on physical and mechanical properties of paper. *Journal of Chemical Engineering and Materials Science*, 7(1), 1-10.
- Hamzeh, Y., Yadollahi, R., Mahdavi, H., and Pourmousa, Sh., 2015. Effect of Application Method of Wet Strength Additives on Paper Properties. *Journal of Forest and Wood Products*, 63(3), 1-10.
- Hong, Y. and Tang, L.Z., 2014. Research on Properties of Antibacterial Paper Sprayed by Nano-Chitosan. In *Advanced Materials Research* (Vol. 926, pp. 214-217). Trans Tech Publications.
- Jalali Torshizi, H., Chiaani, E., Rudi, H. and Nabid, M.R., 2017. Performance of chitosan and polyamide epichlorohydrin (PAE) on wet strength and water absorption of deinked pulp. *Journal of Forest and Wood Products*, 70 (4), 709-717.
- Nicu, R., Bobu, E. and Desbrieres, J., 2011. Chitosan as cationic polyelectrolyte in wet-end papermaking systems. *Cellulose Chemistry and Technology*, 45(1), 105.
- Spagnol, C., Rodrigues, F.H., Pereira, A.G., Fajardo, A.R., Rubira, A.F. and Muniz, E.C., 2012. Superabsorbent hydrogel composite made of cellulose nanofibrils and chitosan-graft-poly (acrylic acid). *Carbohydrate Polymers*, 87(3), 2038-2045.
- Yadollahi, R., Hamzeh, Y., Mahdavi, H. and Pourmousa, S., 2014. Synthesis and Evaluation of Glyoxalated Polyacrylamide (GPAM) as a Wet and Dry- Strengthening Agent of Paper. *Iranian Journal of Polymer Science and Technology*, 27 (2), 121-129.
- خیس شده با آب گردیده که افزایش میزان اعمال نانوهیدروژل نیز بر بهبود نرمی (کاهش سفتی) افزوده است. با این حال و بدلیل افزایش پیوندیابی حاصل از کاربرد بسپارهای کایتوزان و اکریلیک اسید، سفتی خمشی کاغذ اندود شده بیشتر از نمونه شاهد مشاهده گردید. افزایش مزبور در پیوندیابی شبکه الیاف کاغذ منجر به بهبود مقاومت های تابع پیوندیابی، یعنی شاخص های کششی و ترکیدن گردید که عموماً از روندی صعودی توأم با افزایش میزان اعمال نانوهیدروژل برخوردار بود. با این حال، شاخص پارگی کاغذها هیچ گونه تأثیری را از اعمال سطحی نانوهیدروژل نشان نداد. همچنین تأثیر پذیری شاخص کششی تر کاغذها از اندود هیدروژل کایتوزان-اکریلیک اسید در سطوح پایین تر اندودسازی، بدلیل سهم اندک کایتوزان در ساختار هیدروژل از یکسو و جذب حدود ۵۰٪ آب فراتر از ظرفیت اولیه کاغذ از سوی دیگر ناچیز بوده، اما در سطح کاربرد ۲٪ نانوهیدروژل منجر به افزایش چشمگیر شاخص کششی تر گردید.

#### منابع مورد استفاده

- Afra, E., Mohammadi, M., Sarayan, A. and Imani, R., 2015. The production of nanobasic microballs and their use in paper with the aim of improving its antibacterial properties. *Journal of Forest and Wood Products*, 68 (3), 547-557.
- Astrini, N., Anah, L. and Haryono, A., 2017. Water absorbency of chitosan grafted acrylic acid hydrogels.

## The effect of surface coating by acrylic acid-chitosan Nano hydrogel on water uptake, strength and optical properties of paper

H. Jalali Torshizi<sup>1\*</sup>, A. Aabedi bafraajerd<sup>2</sup> and R. Shidpour<sup>3</sup>

1\*- Corresponding author, Assist. Prof., Faculty of New Technologies Eng., Shahid Beheshti University, Iran,  
Email: H\_Jalali@sbu.ac.ir

2-M.Sc. student, Faculty of New Technologies Eng., Shahid Beheshti University, Iran

3- Assist. Prof., Faculty of New Technologies Eng., Shahid Beheshti University, Iran

Received: July, 2018

Accepted: Sep., 2018

### Abstract

Simultaneously providing different but paradox properties of paper products has been the utmost challenging issues of papermakers, e.g., reaching proper strength combined with high water absorbency in hygienic papers has been an issue. For example, higher fiber bonding results in lower accessibility to the hydrophilic functional group. Therefore, hydrogel has attained increasing importance in bulky cellulosic diapers. In this study, surface coating on paper was investigated and compared with distilled water saturated papers. The chitosan-acrylic acid (AA) hydrogel was converted to nanoparticles using ultrasonic homogenizer and Dynamic Light scattering (DLS) confirmed the dimension of Nano scaled particles. SEM images and paper caliper revealed the formation of Nano-hydrogel coating layer on paper. The water uptake of all papers coated with 1, 1.5 and 2% Nano-hydrogel increased significantly up to 50% compared to the untreated sample. Burst and dry tensile strengths were improved in a similar way as with water uptake, but tear strength was unchanged. Increased fiber bonding due to the presence of carboxylic acid in AA combined with hydroxyl and amine groups in chitosan, and the reinforcing effect of Nano hydrogel film formation on the cellulosic substrate resulted in strength improvement. Wet tensile strength of paper revealed remarkable increase at 2% coating application, but providing negligible enhancing effects at the lower dosages. Paper opacity, brightness and whiteness remained almost unchanged, but due to chitosan yellowish nature, the paper yellowness increased. The coated paper stiffness enhanced compared to untreated paper, but revealed lower stiffness than water saturated papers. The caliper, tensile and burst indices of water treated papers were reduced and stiffness increased.

**Keywords:** Surface coating, paper properties, chitosan-acrylic acid Nano hydrogel.